



## Aplicação de Motores de Média Tensão dedicados acionados por inversor de frequência e utilização de um único projeto em diferentes solicitações de carga.

Gleuber Helder Pereira Rodrigues Esp. Eng.  
WEG  
Brasil  
[gleuber@weg.net](mailto:gleuber@weg.net)

Alex Carlos Schmidt Eng.  
WEG  
Brasil  
[alexcarlos@weg.net](mailto:alexcarlos@weg.net)

**Abstract** - Com a utilização cada vez maior de inversores de frequência no acionamento de motores elétricos, é comum o ponto de operação das cargas estarem projetadas para operar fora dos pontos usuais de operação dos motores assíncronos, buscando a maior eficiência de operação e produção. Este artigo aborda o dimensionamento do motor para operar nominalmente em frequência diferente de 60Hz, além de propor uma única solução de motor dedicado apto a operar várias cargas com solicitações de torque distintos.

### ÍNDICE DE TERMOS: MOTOR DEDICADO, PADRONIZAÇÃO;

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Características das cargas

Os pontos de operação das máquinas, vistos aqui como cargas, são calculados com o foco na produção e eficiência das mesmas. Dentre as cargas existentes, as máquinas de fluxo (ventiladores, bombas, compressores) são destacadas neste artigo. Elas utilizam fatores como vazão e pressão do fluido no seu dimensionamento, originando um ponto ótimo de operação, onde o desempenho está diretamente ligado ao funcionamento na rotação calculada. Além disso, é muito comum, em um ambiente industrial, necessitar variarmos esses parâmetros para *otimizar* a produção desejada. Com a evolução da eletrônica de potência, o custo dos acionamentos de velocidade variável de motores está viabilizando cada vez mais a aquisição dos mesmos, difundindo e diversificando a sua utilização na indústria.

### 1.2. Acionamento das cargas

Por uma série de fatores, que envolve principalmente custo de aquisição, facilidade de manutenção, construção simplificada e

solução comum no mercado, os motores assíncronos são largamente utilizados na função motriz desses equipamentos.



Motor de indução trifásico de média tensão (rotor de gaiola)

Desde sua invenção, em 1889, os motores de indução trifásicos (MIT) representam grande parte da energia consumida no mundo. Tendo seu princípio de funcionamento baseado na interação entre um estator bobinado e um rotor de gaiola em material condutor (alumínio, cobre ou latão), os motores assíncronos possuem uma velocidade nominal fixa (com escorregamento), que depende fundamentalmente da frequência de alimentação da rede e do arranjo de suas bobinas no estator, configurando o número de polos.



$$n = \frac{f}{p} \cdot (1 - s) \quad (1)$$

Onde:

- $n$ : rotação nominal de um MIT (rps)
- $f$ : frequência da rede (Hz)
- $p$ : número de pares de polos
- $s$ : escorregamento (entre 0 e 1)

Por essa definição, é possível perceber a limitação existente na velocidade de operação em um motor acionado diretamente pela rede (fixada em 60Hz, por exemplo). Tal informação influenciará diretamente no dimensionamento da carga acionada, restringindo a mesma a operar, potencialmente, fora do seu ponto ótimo, pois a rotação está vinculada à rotação do motor.

### 1.3. Variação de velocidade com motores de indução trifásicos

Para equacionarmos esse problema, buscando uma solução, existem algumas possibilidades que permitem variarmos a velocidade da força motriz, ou controlarmos a produção das máquinas acionadas:

- Interfaces mecânicas (variadores hidráulicos)
- Embreagens
- Uso de registros (dumpers)
- Inversores de frequência

Entre os métodos citados, o inversor de frequência se mostra mais atraente, dado a sua versatilidade (variação de velocidade, controle de torque e partida). Os demais apresentam limitações de operação e eficiência energética inferior, inviabilizando a citação deles neste artigo.

### 1.4. Utilização do inversor de frequência e liberdade de projeto das cargas acionadas

Como consequência dos atributos citados anteriormente, é possível ajustar, via parâmetros do inversor de frequência, o ponto de operação do motor, de modo que o mesmo seja capaz de suprir a carga acionada com o torque exigido, na rotação solicitada.

Assim, pode-se dimensionar a carga sem que haja limitação da rotação de operação, provendo maior liberdade de projeto, na busca do melhor acerto para as necessidades de produção.



Aplicação típica de motor de indução trifásico de média tensão

A seguir, dois exemplos de curvas de máquinas de fluxo, com características de conjugado parabólico nas figuras 1 e 2.

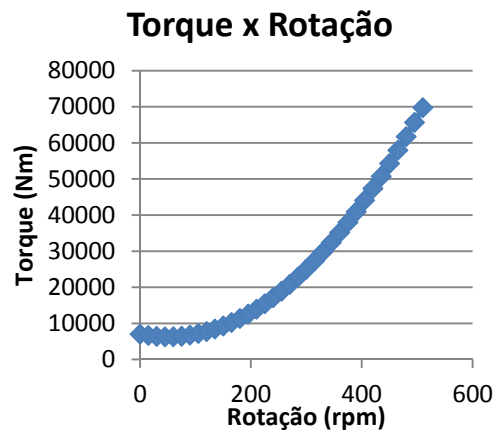


Figura 1 - Torque x rotação. Rotação de operação em 510rpm

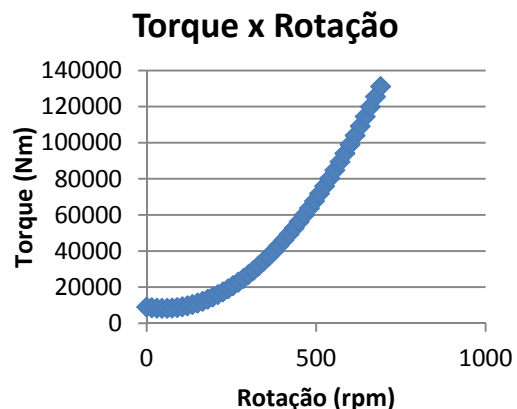


Figura 2 - Torque x rotação. Rotação de operação em 675rpm



Na figura 1, o ponto nominal de projeto da máquina de fluxo é dimensionado a operar em 510rpm. No caso de acionamento por um motor de indução trifásico acionado diretamente na rede, o número de polos indicado seria de 14 polos, cuja rotação nominal estaria próxima da rotação de operação da carga. Já na figura 2, temos uma máquina projetada para operar em 675rpm. Tal rotação estaria entre os pontos nominais de motores de 10 e 12 polos, não sendo possível utilizar um motor de indução alimentado diretamente na rede.

No caso da figura 2, torna-se interessante o uso de inversor de frequência, com o objetivo que o motor trabalhe no ponto desejado de rotação, podendo usufruir de outras vantagens inerentes do acionamento, tais como partida suave sem perda de torque (ideal para cargas de altas inércias e/ou redes frágeis) e variação de velocidade para ajuste de produção.

## 2. Dimensionamento do motor para utilização fora do ponto nominal

Primeiramente, deve-se ter em mente que a curva de torque x rotação do motor acionado por inversor de frequência não é a mesma de um motor alimentado diretamente pela rede.

Vejamos os dois exemplos nas figuras 3 e 4:

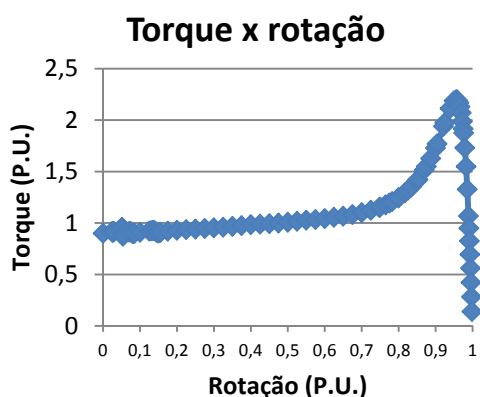


Figura 3 - Curva típica de torque x rotação - partida direta

## Torque x Rotação

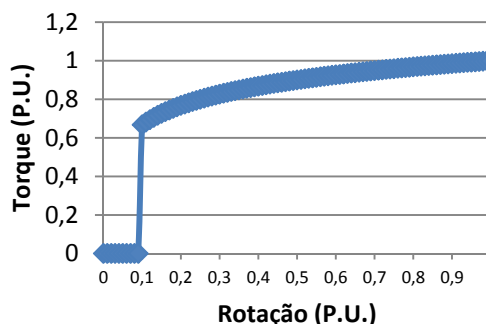


Figura 4 - Curva típica de torque x rotação - partida por inversor

Podemos verificar que o comportamento de “cela” acontece somente no motor alimentado diretamente pela rede. Quando acionado por inversor de frequência, que alterarão de maneira ordenada tensão e frequência nos terminais do motor, o comportamento do torque pode ser programado conforme convier, tendo como limitantes o torque máximo disponível e o limite térmico do motor. A figura 4 mostra uma curva característica de torque x rotação de um motor acionado por inversor de frequência.

É possível notar que, ao contrário do que se fala, quando acionado por inversor de frequência, o torque do motor não é constante em toda a faixa de rotação, pois em regiões de menor rotação, onde a ventilação também diminui (o ventilador está fixado no eixo do motor), existe uma perda proporcional no torque disponível na ponta de eixo.

Além disso, é possível notar que no acionamento por inversor de frequência não consta os valores de torque do motor na rotação inferior a 10% da nominal. Isso acontece porque, em malha aberta, a influência de alguns parâmetros do conjunto motor/inversor não permite determinar qual será o comportamento do torque nessa região.

Na maioria das cargas (conjugados parabólicos), essas duas limitações não interferem no funcionamento. Quanto àquelas cargas que dependem desses fatores, a



solução se resume a instalação de uma ventilação forçada independente e/ou uma realimentação da velocidade do motor através de encoder.

Assim, a preocupação no projeto do motor, acionado por inversor, está em dimensioná-lo de tal forma que, em toda faixa de operação, o torque disponível pelo motor seja superior ao torque requerido pela carga, tomando-se como base o ponto de operação principal.

Voltando ao exemplo da Figura 2, na qual temos os seguintes dados complementares:

- Rotação a plena carga: 675 rpm
- Torque a plena carga: 123437,5 Nm
- Torque inicial: 7000 Nm
- Inércia da carga: 5855 kgm<sup>2</sup>

Pela característica de torque parabólico da carga, a atenção fica voltada ao ponto de operação a plena carga.

O objetivo será projetar um motor que supra a necessidade de torque de 123437,5Nm a 675rpm. Para isso, é necessário, primeiramente, analisar o comportamento do torque do motor nas faixas de operação do mesmo, tendo como referência o ponto nominal da máquina.

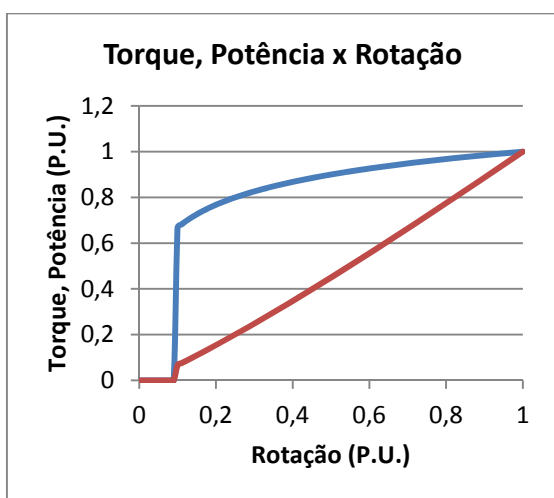


Figura 5 - Curva de Torque/Potência x rotação do motor

Em um acionamento por inversor de frequência, conforme mostrado na figura 5, o comportamento do torque do motor, na faixa de rotação inferior ao ponto nominal é quase constante. Para obter tal característica, é necessário manter o fluxo eletromagnético constante nos enrolamentos do estator, o que é possível quando se altera apropriadamente a relação de tensão e frequência nesta faixa.

$$\phi \propto \frac{U}{f} \propto T \quad (2)$$

Onde:

- $\phi$ : Fluxo eletromagnético do motor
- $U/f$ : Relação de tensão (V) por frequência (Hz)
- $T$ : Torque do motor

Pela equação (2), pode-se afirmar que o fluxo e o torque serão proporcionais à relação  $U/f$ , mantendo-os constante quando é fixada essa proporção até o ponto nominal. Pode-se afirmar também que a potência do motor será proporcional à tensão aplicada nessa faixa de rotação.

Isto posto, calcula-se a potência necessária para suprir as necessidades de torque no ponto de operação. Sabe-se que o torque ou conjugado é uma função matemática entre potência e rotação, podendo ser representada pela equação seguinte. Tal equação modificada do Sistema Internacional nos fornecerá valores práticos, utilizando dados disponíveis em dados de placa de motores.

$$T = \frac{P(kW) \cdot 9550}{n(rpm)} (Nm) \quad (3)$$

Onde:

- $T$ : Torque nominal em Nm
- $P$ : Potência nominal em kW
- $n$ : Rotação do motor em rpm

Isolando-se a potência, temos o seguinte resultado:

$$P = \frac{T(Nm) \cdot n(rpm)}{9550} (kW) = \frac{123437,5 \cdot 675}{9550} = 8725 kW \quad (4)$$



Onde:

- $P$ : Potência consumida pela carga no ponto nominal

É comum no dimensionamento de motores para máquinas de fluxo, atribuir uma folga de potência de 10%, a qual também será usada neste artigo. Assim, a potência dimensionada do motor será de 9.600 kW, que deverá ser fornecida em 675 rpm.

## 2.1 Definição do ponto nominal

Considera-se, para efeito de cálculo, que o comportamento de torque e potência do motor se dá em duas regiões:

- Torque constante e potência linear abaixo da rotação nominal
- Torque decrescente (enfraquecimento de campo) e potência constante acima da rotação nominal

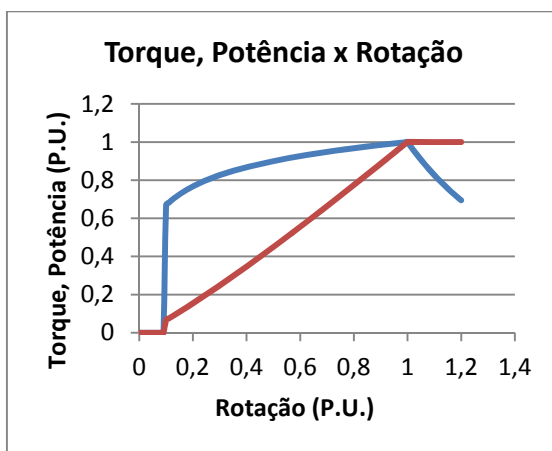


Figura 6 - Comportamento real de torque/potência abaixo e acima da rotação nominal

Como o objetivo é dimensionar um motor dedicado (frequência diferente da frequência da rede), obedecem-se os seguintes passos para a definição do projeto, comparando seus parâmetros com outras soluções possíveis.

### a. Definição do número de polos

Pelas características da máquina elétrica, quanto menor a quantidade de polos, melhor será o seu fator de potência e, por

consequente, menor será a sua corrente nominal. Como, aqui, tem-se a liberdade de mudar a frequência nominal do motor, o número de polos deverá ser o menor possível. Apenas uma sugestão por parte de fabricantes de inversor de frequência, a fim de facilitar o controle da aplicação, é de limitar a frequência mínima acima dos 25Hz.

Para o exemplo citado, calcular-se-á com base na rotação síncrona das máquinas, ou seja, se utilizará a equação (1) com escorregamento igual a zero, porém com a rotação desejada (675rpm). Isso é possível, pois o escorregamento da máquina é muito pequeno (<1%).

$$n = \frac{120 \cdot f}{p} \Rightarrow f = \frac{n \cdot p}{120} \quad (1.1)$$

Onde:

- $n$ : Rotação síncrona do motor
  - $f$ : frequência de operação do motor
  - $p$ : número de polos do motor
- Cálculo das frequências de operação para cada número de polos:

$$14 \text{ polos: } f_{14} = \frac{675 \cdot 14}{120} = 78,75 \text{ Hz}$$

$$12 \text{ polos: } f_{12} = \frac{675 \cdot 12}{120} = 67,5 \text{ Hz}$$

$$10 \text{ polos: } f_{10} = \frac{675 \cdot 10}{120} = 56,25 \text{ Hz}$$

$$08 \text{ polos: } f_{08} = \frac{675 \cdot 8}{120} = 45 \text{ Hz}$$

$$06 \text{ polos: } f_{06} = \frac{675 \cdot 6}{120} = 33,75 \text{ Hz}$$

$$04 \text{ polos: } f_{04} = \frac{675 \cdot 4}{120} = 22,5 \text{ Hz}$$



$$02 \text{ polos: } f_{02} = \frac{675 \cdot 2}{120} = 11,25 \text{ Hz}$$

Como premissa, é possível descartar as máquinas de 02 e 04 polos, por estarem em frequências inferiores a 25Hz. Também não se aproveitará as polaridades de 12 e 14, o que pode acarretar uma velocidade periférica das partes do rotor superior àquela permitida por projeto (utilizou-se 60Hz como referência).

Assim, restam para análise os motores de 10, 08 e 06 polos.

#### b. Definição da potência base

Com a definição dos possíveis números de polos/frequências de operação, pode-se definir as respectivas potências base que possam atender às solicitações de carga, fornecendo as características elétricas de rendimento e fator de potência para calcular a corrente do motor na operação.

Para calcular tais potências, verifica-se o mesmo torque disponível da máquina em 60Hz, tomando como base um motor de catálogo [01]. O volume ativo de um motor de indução sempre será proporcional ao torque disponível na ponta de eixo. Calculando o mesmo torque solicitado no ponto nominal, porém em 60Hz, consegue-se estimar o tamanho do motor sem precisar consultar o fabricante de motores elétricos para isso. Para o cálculo, basta manter a relação  $U/f$  constante até o ponto, onde a frequência é 60Hz, calculando a potência base proporcional.

- 10 polos:  
9600kW em 56,25Hz  
Calculando-se em 60Hz, temos:

$$P'_{10} = \frac{60}{56,25} \cdot 9600 \text{ (kW)} = 10240 \text{ kW}$$

- 08 polos  
9600kW em 45Hz  
Calculando-se em 60Hz, temos:

$$P'_{08} = \frac{60}{45} \cdot 9600 \text{ (kW)} = 12800 \text{ kW}$$

- 06 polos  
9600kW em 33,75Hz  
Calculando-se em 60Hz, temos:

$$P'_{06} = \frac{60}{33,75} \cdot 9600 \text{ (kW)} = 17066,67 \text{ kW}$$

#### c. Definição da corrente de operação do motor dedicado e do motor base

Todos os seis motores citados anteriormente estão aptos a acionarem a carga informada, ou seja, todos eles terão torque disponível na ponta de eixo suficiente atender a demanda de torque da carga. O inversor de frequência será responsável por fazê-los trabalharem na frequência conveniente para que a rotação na ponta de eixo esteja programada para os 675 rpm desejados, alterando os parâmetros de tensão e frequência.

Assim, lista-se cada um dos motores, colocando suas características elétricas principais e calculando a corrente demandada por cada um deles. Também se calcula a tensão de operação da máquina (proporcional à frequência de funcionamento), a fim de verificar também a potência aparente demandada pelo motor no ponto de operação, denotando o consumo de cada solução.

Para o cálculo da corrente e potência consumidas, utiliza-se as seguintes expressões, sendo a expressão (5.1), uma derivação da expressão (5):

$$I_n = \frac{P(W)}{U(V) \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} \text{ (A)} \quad (5)$$

Onde:

- $I_n$ : Corrente nominal do motor
- $P$ : Potência em watts
- $U$ : Tensão em volts
- $\cos \varphi$ : fator de potência do motor
- $\eta$ : rendimento do motor



$$P(W) = \sqrt{3} \cdot U(V) \cdot I(A) \quad (5.1)$$

- Motores de 10 polos
  - Motor base #01: 10240kW/10 polos / 60Hz/4160V
    - Rendimento: 97,5%
    - Fator de potência: 0,87
    - Tensão:  $\frac{56,25}{60} \cdot 4160 = 3900V$
    - Corrente: 1675A
    - Consumo  $\approx 11.315kVA$
  - Motor dedicado #02: 9600kW/10 polos / 56,25Hz/4160V
    - Rendimento: 97,5%
    - Fator de potência: 0,87
    - Tensão: 4160V
    - Corrente: 1571A
    - Consumo  $\approx 11.320kVA$
- Motores de 08 polos
  - Motor base #03: 12800kW/8 polos / 60Hz/4160V
    - Rendimento: 97,9%
    - Fator de potência: 0,88
    - Tensão:  $\frac{45}{60} \cdot 4160 = 3120V$
    - Corrente: 2062A
    - Consumo  $\approx 11.143kVA$
  - Motor dedicado #04: 9600kW/8 polos / 45Hz/4160V
    - Rendimento: 97,9%
    - Fator de potência: 0,88
    - Tensão: 4160V
    - Corrente: 1546A
    - Consumo  $\approx 11.139kVA$
- Motores de 06 polos
  - Motor base #05: 17066,67kW/6 polos / 60Hz/4160V
    - Rendimento: 97,8%
    - Fator de potência: 0,88
    - Tensão:  $\frac{33,75}{60} \cdot 4160 = 2340V$
    - Corrente: 2752A
    - Consumo  $\approx 11.154kVA$

- Motor dedicado #06: 9600kW/6 polos / 33,75Hz/4160V
  - Rendimento: 97,9%
  - Fator de potência: 0,89
  - Tensão: 4160V
  - Corrente: 1529A
  - Consumo  $\approx 11.016kVA$

#### d. Escolha da melhor solução

Quando analisamos os três parâmetros juntos (corrente, tensão e potência), podemos perceber três pontos:

- Quanto mais próxima a frequência de operação estiver da frequência da rede, menor será a diferença nas correntes de operação e da potência consumida pelo motor.
- Para os motores dedicados, como a tensão nominal será sempre 4160 V para o ponto de operação, a corrente consumida variará com os parâmetros de fator de potência e rendimento. Com isso, quanto menor a quantidade de polos, menor será a corrente.
- Pelas variações de corrente e tensão, no ponto de operação, a potência consumida pelos motores varia muito pouco (2,7% no pior caso). Mesmo assim, tal porcentagem representa 264 kWh de consumo de potência ativa. Para um consumo de 15h por dia, 220 dias por ano, temos uma economia possível de aproximadamente 871 MWh por ano.

Dessa maneira, objetivando um menor consumo de energia, menor dimensionamento de cabos entre motor e inversor e um tamanho menor do próprio inversor de frequência, a solução dedicada com o menor número de polos factível será a melhor solução. No exemplo dado, a melhor configuração seria o motor dedicado #6 de 06 polos em 33,75Hz.

Por outro lado, caso o usuário não deseje ter um motor dedicado em sua planta, mas sim, um motor padrão (60Hz) potencialmente



intercambiável com outros motores similares, então a melhor solução deverá seguir a seguinte comparação:

Motor 60Hz polaridade alta	Motor 60Hz polaridade baixa
Consumo de energia maior	Tamanho de inversor maior (maior corrente); Custo dos cabos entre motor e inversor.

Tal comparação entre o custo de aquisição e custo de operação, definido o prazo de comparação (retorno sobre o investimento), definirá qual a opção a se aplicar.

## 2. Utilização de projeto único para várias aplicações

Consentida a melhor solução para uma carga, que opera fora do ponto nominal de um motor trifásico assíncrono, é possível verificar a possibilidade de projetar um único motor para várias cargas com pontos nominais diferentes.

Em uma instalação, é possível que haja várias cargas com comportamentos semelhantes, porém operando em pontos nominais diferentes. Uma solução é determinar um projeto de motor dedicado para cada aplicação. Contudo, dependendo do número de aplicações, determinar um projeto único para todas as aplicações pode se tornar uma solução economicamente interessante, com vantagens principalmente na redução de itens de estoque e padronização de motores.

Segue um exemplo de várias cargas semelhantes:

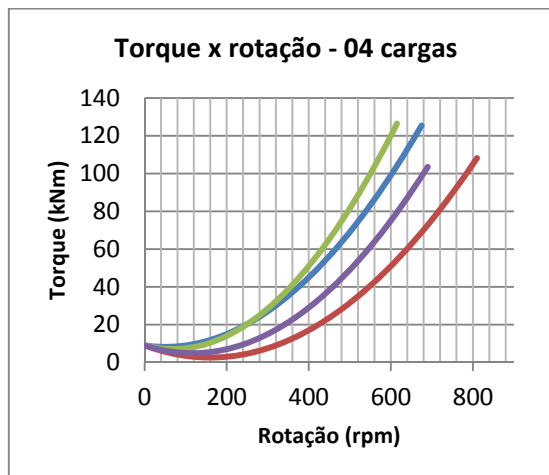


Figura 7 - Cargas de comportamento parabólico, operando em pontos nominais distintos.

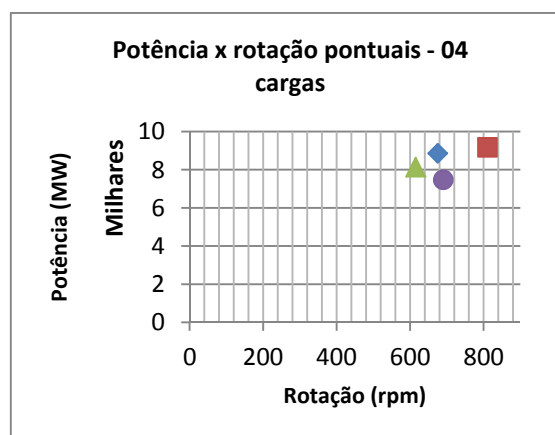


Figura 8 - Pontos de operação das cargas, expressos em potência x rotação

O objetivo será calcular um ponto de operação, que tenha torque e potência suficientes para suprir às necessidades de todas as cargas consideradas. Dependendo da configuração dos pontos de operação, será possível que o motor opere cargas na região de torque constante e/ou cargas na região de enfraquecimento de campo.

No exemplo utilizado, o projeto de motor que atenderia a esses requisitos, com a mesma margem de 10% utilizada anteriormente, teria a sua curva representada nos gráficos das figuras 9 e 10.



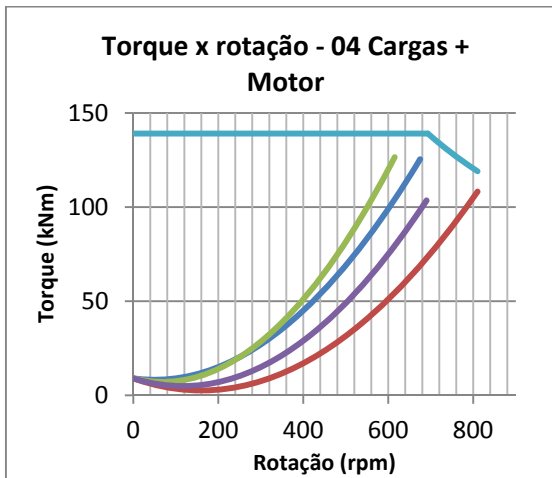


Figura 9 - Gráfico de torque x rotação do motor que atende às todas as demandas de carga

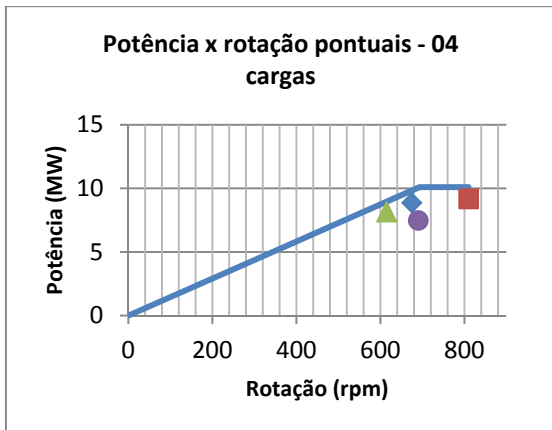


Figura 10 - Gráfico de potência x rotação do motor que atende às todas as demandas de carga

Basicamente, o cálculo a ser informado busca o menor torque nominal possível, em consonância com a menor rotação nominal possível. Tais quesitos obedecem às conclusões geradas anteriormente, buscando sempre o menor custo de aquisição e operação.

*a. Definição dos parâmetros do projeto do motor*

Toma-se as diferentes solicitações de torque e potência, em seus pontos de operação, como  $T_i$  e  $P_i$ , sendo que, para cada  $T_i$  e  $P_i$ , haverá uma rotação inerente  $n_i$ , constituindo um universo de pontos de operação  $[T_i, P_i, n_i]$ , como vemos a seguir:

Carga	Torque	Potência	Rotação
Carga 1	$T_1$	$P_1$	$n_1$
Carga 2	$T_2$	$P_2$	$n_2$
Carga 3	$T_3$	$P_3$	$n_3$
Carga 4	$T_4$	$P_4$	$n_4$
⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮
Carga $i$	$T_i$	$P_i$	$n_i$

Para calcular o projeto do motor, será necessário saber qual é o máximo torque solicitado ao mesmo (retirado dos dados de carga de cada aplicação) e qual a maior potência solicitada (calculada). Assim, determina-se  $T_{\max}$  e  $P_{\max}$ , onde:

$$T_{\max} = \max[T_1, T_2, T_3, T_4 \dots T_i] \quad (6)$$

e

$$P_{\max} = \max[P_1, P_2, P_3, P_4 \dots P_i] \quad (7)$$

Haja vista que o motor deverá, obrigatoriamente, suprir a necessidade de torque de todas as cargas, e que o pior caso será a maior solicitação de torque dentre elas, pode-se afirmar que o torque nominal do motor terá como referência o torque  $T_{\max}$ . Para seguir o mesmo padrão adotado anteriormente, adiciona-se a mesma folga de potência de 10%. Com isso, tem-se a seguinte expressão:

$$T_n = 1,1 \cdot T_{\max} \quad (8)$$

Onde:

$T_n$ : Torque nominal do motor

Definido o torque do motor, resta calcular a rotação de operação do mesmo. Para isso, basta termos em mente que o motor, que atenderá a todas as cargas, será aquele que tiver a disponibilidade do maior torque e da maior potência. Com isso, é possível determinar a rotação de operação, utilizando uma derivação da equação (3) e os valores coletados de  $T_{\max}$  e da potência  $P_{\max}$ .



$$n_n \text{ (rpm)} = \frac{P_{\max} \cdot 9550}{T_{\max}} \quad (9)$$

Onde:

$n_n$ : Rotação de operação do motor

Definida a rotação do motor, basta voltar à mesma equação para se obter o valor da potência nominal, utilizando o torque nominal obtido ( $T_n$ ) e a rotação nominal calculada  $n_n$ .

$$P_n \text{ (kW)} = \frac{T_n \cdot n_n}{9550} \quad (10)$$

Onde:

$P_n$ : Potência de operação do motor

Por analogia, é possível perceber que a potência também pode ser definida por:

$$P_n = P_{\max} \cdot 1,1 \quad (11)$$

O cálculo da rotação nos fornece um valor que ajusta o ponto de operação do motor, de modo que o mesmo forneça torque suficiente na região de maior demanda de potência.

Graficamente, pode-se analisar da seguinte maneira:

- O torque é proporcional à razão

potência/rotação ou que  $tg\left(\frac{P_i}{n_i}\right) \propto T_i$

- Considerando a razão  $\frac{P_i}{n_i} = \beta_i$ , pode-se afirmar que, quanto maior for  $\beta_i$ , maior o torque solicitado pela carga.
- Traçando-se uma reta da origem a cada ponto de operação no gráfico potência x rotação, tem-se o seguinte cenário:

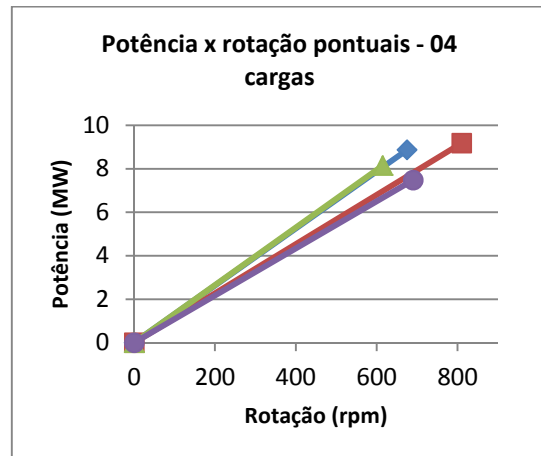


Figura 11 - Semirretas da origem a cada ponto de operação no gráfico Potência x rotação

Assim, conhecendo-se o comportamento do motor de torque constante até a rotação nominal e potência constante acima da rotação nominal e, sabendo-se que o motor deverá ter o maior torque e a maior potência das cargas consideradas, pode-se determinar graficamente o comportamento da potência do motor.

A curva com maior torque, ou maior  $\beta_i$ , ou maior inclinação deverá atingir o ponto de maior potência. Resumindo, será o encontro das duas curvas dispostas abaixo. O ponto de intersecção informará a rotação calculada anteriormente.

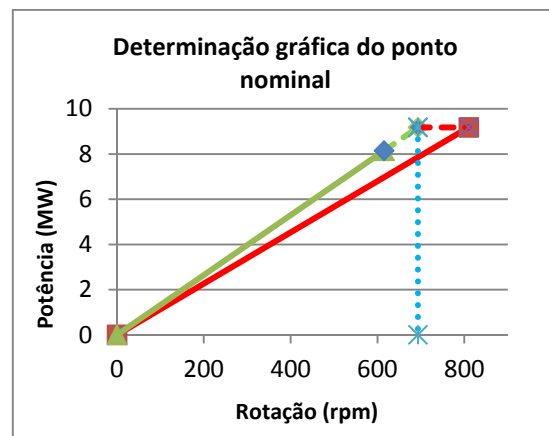


Figura 12 - Determinação pelo método gráfico do ponto de operação do motor

Seguindo a mesma orientação anterior e adicionando 10% de folga na potência, pode-se definir a curva do motor.

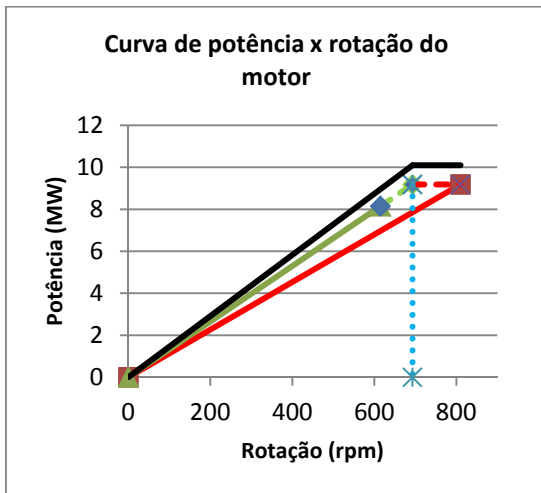


Figura 13 - Curva final de potência x rotação do motor

Observação: Um fato importante a ser considerado nesse dimensionamento é a limitação entre a relação da rotação nominal e da rotação máxima. Baseado no fato que o torque máximo, na região de enfraquecimento de campo, decresce com o quadrado do inverso da rotação; e que o torque nominal, na mesma região, decresce com o inverso da rotação. Assim, deve-se tomar cuidado e evitar um ponto de operação onde o torque máximo seja inferior ao torque nominal, significando perda de potência no motor. Para isso, basta seguir a seguinte expressão:

$$n_{\max} < \left( \frac{T_m}{T_n} \right) \cdot n_n, \quad (12)$$

Onde:

$\frac{T_m}{T_n}$ : é a relação entre o torque máximo do

motor e o torque nominal do motor, também

conhecido como  $\frac{C_m}{C_n}$ .

$n_{\max}$ : Limitação da rotação máxima.

### b. Conclusões finais

Pela experiência nos projetos de motores assíncronos trifásicos, acionados por inversor de frequência, cuja carga foi projetada para operar em uma rotação distante da rotação nominal do motor, sugere-se que o dimensionamento do mesmo tenha caráter

dedicado, buscando a menor quantidade de polos factível, visando menor custo de aquisição do inversor de frequência, dimensionamento de cabos entre inversor e motor, e consumo de energia. Além disso, no caso de várias cargas com comportamentos parecidos, é possível dimensionar um motor, também em caráter dedicado, cujas características irão atender a todas as cargas consideradas, visando padronização e número reduzido de itens de estoque.

Ressalvas são permitidas no caso de padronização já existente e pontos operacionais muito distantes entre si.

### 3. Referências bibliográficas

[01] [http://catalogo.weg.com.br/tec\\_cat/tech\\_motor\\_sel\\_web.asp](http://catalogo.weg.com.br/tec_cat/tech_motor_sel_web.asp)