

## Substituição dos Motores Anéis por Motores Standard Acionados por Inversores de Frequência em Sistemas de Lançamento

Fernanda Schmidt Seelig

[nandaseelig@hotmail.com](mailto:nandaseelig@hotmail.com)

UNITAU, Departamento de Engenharia Mecânica,  
Rua Daniel Danelli, s/n, Jardim Morumbi,  
12060-440, Taubaté, SP

Ronaldo Rossi

[ronarossi@uol.com.br](mailto:ronarossi@uol.com.br)

ALSTOM Brasil, Unidade de Taubaté,  
Av. Charles Schneider, s/n,  
12040-001, Taubaté, SP

Wendell de Queiróz Lamas

[wendell@ieee.org](mailto:wendell@ieee.org)

FEG, Departamento de Engenharia Elétrica,  
Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333,  
Pedregulho, 12516-410, Guaratinguetá, SP

Luiz Octávio Mattos dos Reis

[mattos19@terra.com.br](mailto:mattos19@terra.com.br)

UNESP-FEG / PPGEM, Departamento de Energia,  
Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333,  
Pedregulho, 12516-410, Guaratinguetá, SP

### RESUMO

*Este trabalho tem por finalidade discutir de uma forma resumida aspectos inerentes ao funcionamento dos motores de indução trifásicos enfatizando aqueles que afetam a sua eficiência energética em sistemas de içamento. A seguir, são apresentadas as técnicas utilizadas em acionamentos de motores elétricos de indução trifásicos, aplicados a equipamentos de levantamento de cargas, isto é, pontes rolantes. Um comparativo entre as tecnologias utilizadas e ainda em utilização com os modernos acionamentos eletrônicos, atualmente utilizados, será apresentado. Pretende-se, também, demonstrar, de forma real, os benefícios, ganhos e evoluções adquiridos após a reforma de uma ponte rolante de capacidade igual a 650/30t. Essas pontes rolantes, antes acionadas por motores do tipo rotor em anéis e controle de velocidade por meio da variação do valor das resistências rotóricas inseridas eletromecanicamente, foi inteiramente substituída por tecnologia baseada em motores com rotor em gaiola de esquilo (standard) e acionamento com utilização de inversores de frequência.*

**PALAVRAS-CHAVE:** Motor Anel. Motor Gaiola de Esquilo. Inversor de Frequência. Ponte Rolante.

### **Replacement of Ring Motors by Standard Motors Driven by Frequency Inverters in Hoisting Devices**

#### ABSTRACT

*This work has the purpose to discuss in a summarized way the aspects innate at the functioning of three-phase induction motors emphasizing those that affect their energy efficiency in hoisting devices. Following this, present the techniques used in induction motors driving, applied to lifting equipments, that is, overhead cranes. A comparative between the technologies used and still in use with the modern electronic drives currently used will be presented. It intends show too, in a real way, the benefits, gains and evolutions acquired after the refurbishment of an Overhead Crane with 650/30 tons of lifting capacity. These overhead cranes drove before by slip ring motors and velocity control through of variation at the value of extra rotor resistance, held electromechanically, was completely substituted by a technology based on squirrel cage rotor motors (standard) and speed variation through of variable frequency drives.*

**KEYWORDS:** Ring Motor. Standard Motor. Squirrel Cage Motor. Frequency Inverter. Rolling Bridges.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente as indústrias têm procurado instalar em seus sistemas elétricos equipamentos que incorporem técnicas que sejam mais eficientes tanto no aspecto produtivo, como no aspecto eficiência energética.

Atendendo a essa filosofia, têm-se no mercado equipamentos com acionamento de velocidade variável (AVV) para controle de torque e velocidade, que acionam eletronicamente os motores de indução. Incorporam em sua filosofia de controle, sistemas híbridos: escalar ou vetorial, além de apresentarem as vantagens de: rapidez na resposta, eficiência na execução dos processos, possuírem elevados graus de automatismo e interface com outros equipamentos, como controladores programáveis (CLP), por exemplo. Por fim, deve-se observar que todos agregam, entre suas inúmeras funções, a de economia de energia. A teoria envolvendo as técnicas de acionamento será descrita neste artigo de forma a terem-se subsídios para a especificação técnica do acionamento dos motores elétricos.

Para o entendimento das vantagens referentes às potências envolvidas na conversão de energia elétrica em mecânica que ocorre em um motor de indução trifásico, recorrem-se às equações da máquina elétrica, referentes ao seu balanço de potência, apresentada por Falcone (1985).

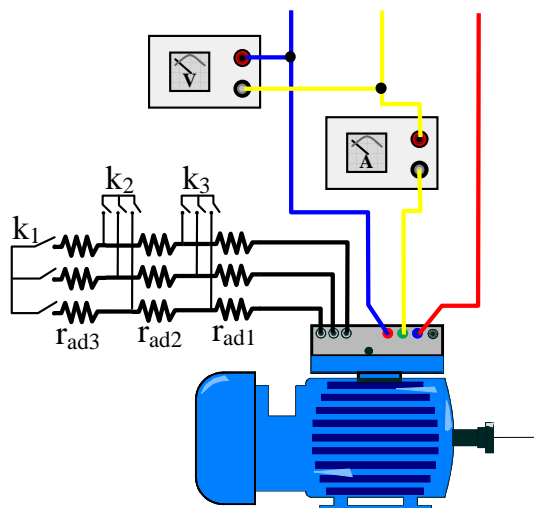
Sob o aspecto da eficiência energética em motores de indução, Santos e Bortoni (2006) apresentam o comportamento das perdas típicas em um motor de indução, como também, apresentam algumas medidas consagradas e adotadas industrialmente na redução das perdas nesses motores e utilizadas neste artigo.

E, considerando todas as teorias inerentes às técnicas de acionamento de motores de indução trifásicos pretende-se neste trabalho realizar um estudo para avaliar a substituição de motores de indução do tipo anéis acionados de forma convencional, por motores tipo "standard", ou mesmo de alto rendimento, porém acionados por inversores de frequência. Considere-se o fato de que os motores tipo anel encontram vasta aplicação em sistemas de elevada inércia como: movimentação e elevação de cargas por pontes rolantes, por exemplo. Quando o conjunto, acionamento e motor, são bem dimensionados, esses sistemas apresentam potencialidades elevadas de redução no consumo de energia elétrica.

As teorias desenvolvidas neste artigo serão aplicadas em uma ponte rolante com capacidade de 650/30t, a ser reformada pela ALSTOM (2006). Equipamento instalado na central hidrelétrica de Guri (Venezuela). Foi projetada e construída na década de 60 com dispositivos para controle de velocidade baseados no princípio de variação do conjugado pela inserção ou retirada de resistências no circuito rotórico, em motores com rotor tipo anéis. Sendo estes responsáveis pelos acionamentos dos tambores de elevação dos guinchos e mecanismos de translação da ponte e direção do seu carro guincho.

## 2. ASPECTOS GERAIS SOBRE O FUNCIONAMENTO DOS MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS (MIT)

Na grande maioria dos processos, esses motores são acionados diretamente pela rede elétrica. E, durante a partida recorre-se a métodos convencionais, entre os quais, para os motores de indução com rotor bobinado ou anel, adota-se a inserção de bancos de resistências no circuito rotórico. Essas resistências são inseridas ou retiradas à medida que o motor desacelera ou acelera respectivamente. As características de corrente de partida, torque de partida ou mesmo de velocidade em regime permanente, mesmo que em uma faixa muito estreita, são modificadas quando se adota esse método de partida. Acrescente-se ainda que esse método requer sucessivas comutações durante o processo de partida, o que exige solicitações transitórias no barramento de alimentação do motor, além de se submeter o motor a elevações de temperatura algumas vezes indesejáveis. O circuito de partida para um motor tipo anel está ilustrado na Fig. (1), em que se destaca a inserção de resistores no circuito rotórico.



**Figura 1.** Motor de indução trifásico tipo anel e banco de resistências do circuito rotórico.

Essa técnica foi, no passado, muito eficiente no acionamento de cargas de grande inércia, em que pese o desperdício de energia que ocorre no banco de resistência agregado no circuito rotórico. Na atualidade, técnicas mais modernas efetuam convenientemente as alterações necessárias nas características de torque por rotação do motor, sem que se tenha desperdício de energia.

Ensaio normalizados, realizados em laboratórios, permitem determinar-se os parâmetros dos motores de indução. Portanto as equações da corrente rotórica, torque e potência podem ser formuladas em função desses parâmetros, conforme ilustram as Eqs. (1) a (3), referentes à corrente rotórica, torque e potência, respectivamente.

$$I'_2 = \frac{sE'_{2p}}{\sqrt{\left(\frac{r'_{2}}{s} + r_{ad}\right)^2 + (x'_{2p})^2}} \quad (1)$$

$$T_{em} = \frac{3}{2\pi} \frac{pp}{f_1} \frac{V_{1f}^2}{\left(r_1 + \frac{r'_{2}}{s} + r_{ad}\right)^2 + X_1^2} \cdot \left(\frac{r'_{2}}{s} + r_{ad}\right) \quad (2)$$

$$P_{mec} = 3 \left(\frac{1-s}{s}\right) P_{J2} \quad (3)$$

Em que:

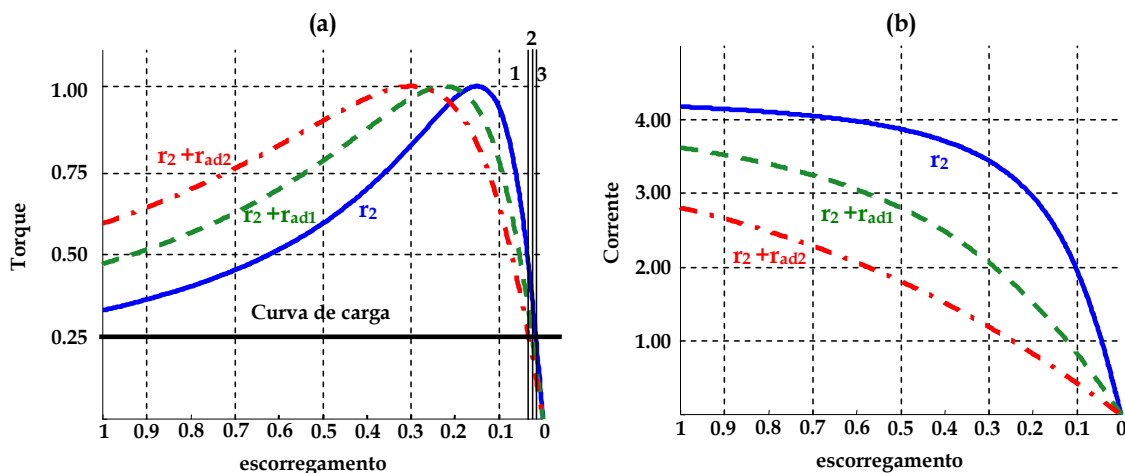
- $I'_2$  - corrente do rotor referida ao estator, medida em Ampère;
- $s$  - escorregamento;
- $E'_{2p}$  - fem do rotor medida durante o instante da partida, medida em Volt;
- $r'_{2}$  - resistência rotórica referida ao estator, medida em Ohm;
- $r'_{ad}$  - resistência adicional inserida no circuito rotórico e referida ao estator, em Ohm;
- $x'_{2p}$  - reatância do rotor referida ao circuito rotórico, medida em Ohm;
- $T_{em}$  - torque eletromagnético medido em N.m;
- $pp$  - par de pólos;

- $f_1$  - freqüência, medida em Hz;  
 $V_{1f}$  - tensão do estator por fase, medida em Volt;  
 $X_1$  - reatância do estator e do rotor referida ao estator, medida em Ohm;  
 $P_{mec}$  - potência mecânica total desenvolvida no rotor, medida em Watt;  
 $P_{J2}$  - perda Joule na resistência rotórica, medida em Watt.

Considerando-se as Eqs. (1) e (2), os gráficos representativos para essas equações em função do escorregamento, estão ilustrados na Fig. (2). Analisando-se os gráficos, resultados da simulação para um determinado motor, em que as grandezas utilizadas estão em pu. Pode-se observar que a adição de resistências no circuito do rotor, representa um aumento no valor do torque, seguido de redução da corrente e da rotação do motor. Sob o ponto de vista acionamento, os benefícios obtidos satisfazem plenamente os objetivos desejados.

Por outro lado, o aumento no torque é seguido por uma redução na rotação do rotor e, por conseguinte, um aumento no escorregamento. Considerando-se que a potência no eixo do motor deve ser mantida durante o processo de içamento, por exemplo, verifica-se pela Eq. (3) que deve haver um aumento na perda Joule do rotor para que a potência mecânica seja mantida.

Atualmente, existem no mercado equipamentos para acionamento de motores de indução que utilizam novas técnicas que permitem o controle de velocidade desses motores em faixas maiores que as apresentadas pelo método discutido. E, ainda, resultam em aumento de torque de partida, conforme a necessidade imposta pela carga. Essas técnicas têm-se mostrado mais eficientes que a discutida nesta seção



**Figura 2.** Curva de conjugado e corrente contra o escorregamento para o motor tipo anel.

### 3. ACIONAMENTO DO MOTOR DE INDUÇÃO POR MEIO DE INVERSORES DE FREQUÊNCIA

A tecnologia para desenvolvimento de novos semicondutores de potência tais como os: IGBTs (*Insulation Gate Bipolar Transistor*), GTO (*Gate Turn-off Thyristor*), MCT (*MOS Controlled Thyristor*) ou ainda o SITH (*Static Induction Thyristor*) etc. e a crescente oferta dos dispositivos microprocessados, microcomputadores e DSPs, tem proporcionado grandes avanços nas técnicas de acionamentos de motores. O inversor fonte de tensão, (do inglês VSI – *Voltage Source Inverter*), popularmente denominado por inversor de freqüência, constitui-se excelente opção técnica e econômica para o acionamento de motores de indução trifásicos e os motores de ímã permanente.

A topologia básica de um VSI está ilustrada no diagrama de blocos da Fig. 3. A função principal desse equipamento é controlar a velocidade do MIT dentro de uma ampla faixa de valores, otimizando as características de torque e corrente conforme as características da carga e do sistema elétrico respectivamente.

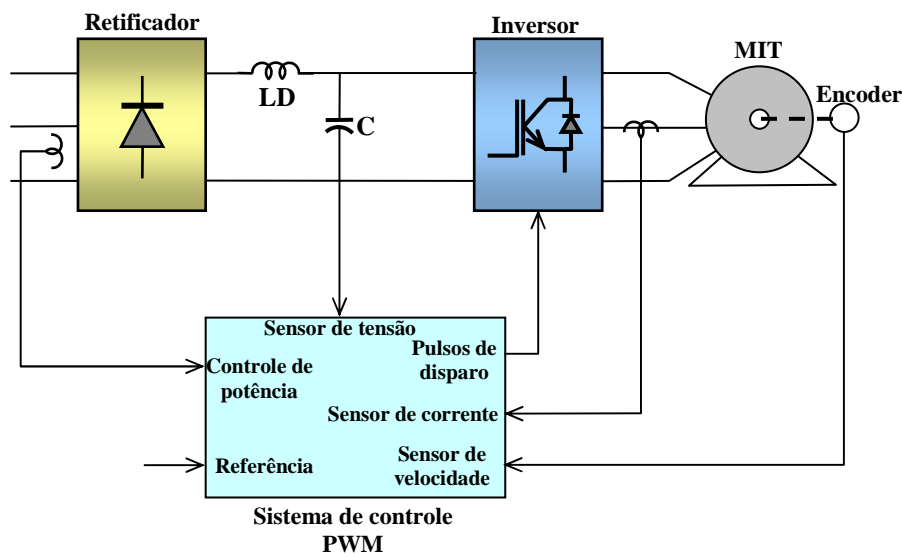


Figura 3. Diagrama de blocos enfatizando a topologia básica de um inversor tipo VSI.

### 3.1. A CURVA DE TORQUE CONTRA VELOCIDADE E A RELAÇÃO V/F

O modo operacional de um MIT, acionado eletronicamente por um VSI, obedece às curvas de torque contra a velocidade pré-definidas de acordo com a frequência imposta ao motor. A razão entre a tensão pela frequência dos sinais aplicados ao motor também deve ser definida conforme a condição operacional do conjunto motor mais carga. Os gráficos apresentados na Fig. 4 ilustram as curvas para algumas faixas discretas, em pu de operação do MIT. Analisando-se o comportamento operacional do motor de indução, acionado por um VSI, conclui-se que seu modo operacional é análogo ao motor de corrente contínua (MCC), por possuir tanto uma região de torque constante quanto uma região de potência constante. Observa-se, na curva de torque contra a velocidade, que o torque permanece constante até o ponto de frequência nominal. E acima deste, começa a decrescer. A potência de saída do VSI cresce linearmente até a frequência nominal e permanece constante acima desta. Observe-se que todas essas características apresentam-se como vantagens sobre o acionamento com resistores rotóricos acionados eletromecanicamente, pois não apresentam desgastes, não apresentam transitórios devido ao chaveamento, além de impor ao motor acelerações suaves, sem impor grandes correntes durante o processo de partida.

Outra vantagem é referente à eficiência energética, uma vez que a velocidade síncrona é mudada a cada valor da frequência, na região de torque constante o escorregamento permanece constante, não havendo a necessidade de se promover o aumento da perda Joule, como ocorre no acionamento por meio de resistências no circuito rotórico.

As técnicas de controle de velocidade utilizadas nos equipamentos VSI são classificadas em dois grupos: controle escalar e controle vetorial.

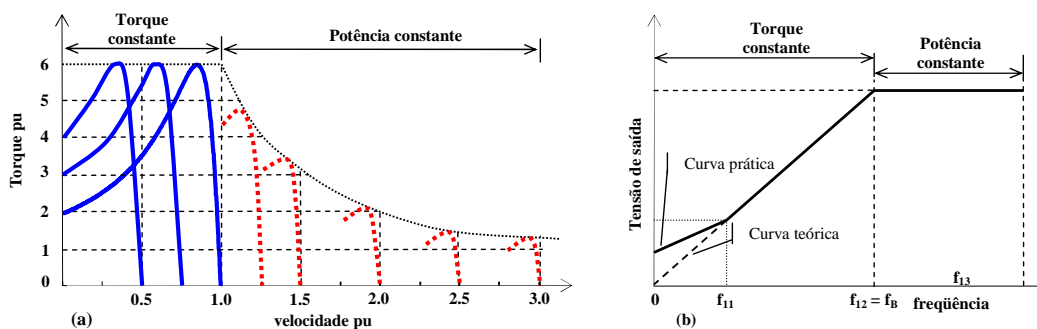


Figura 4. Característica de torque contra velocidade (a), e a razão V/f (b).

### 3.2. O CONTROLE ESCALAR

Conforme define a WEG em seus módulos de treinamento (2006), o controle escalar é uma técnica de controle de velocidade utilizada por inversores de frequência convencionais aplicados em processo que necessitam apenas de variação de velocidade. Outra característica é que não requerem elevadas dinâmicas bem como respostas precisas, entretanto essa técnica também não agrega o controle de torque (corrente). O circuito de potência do inversor é igual para os dois sistemas (escalar ou vetorial), sendo que a diferença entre os dois é a forma com que é executado o controle de velocidade do motor.

Em um sistema com controle escalar, é possível uma precisão de velocidade de até 0,5% da rotação nominal, sem variação de carga, e de 3% a 5% com variação de carga de 0 a 100% do torque nominal. Pelo princípio de funcionamento e aplicação, são utilizados, na maioria das vezes, motores de indução “Standard” sem nenhum sistema de realimentação de velocidade (tacogerador acoplado a motor), ou seja, em malha fechada. A faixa de variação de velocidade é pequena e da ordem de 1:10 (ex: 6 a 60Hz), segundo informações da WEG (2006).

Com essas características, o inversor de frequência convencional (escalar), é utilizado em maior escala, pois apresenta um custo relativamente menor que o inversor com controle vetorial, como também em relação a um acionamento que utilize máquinas de corrente contínua, acionadas por meio de pontes conversoras retificadoras controladas.

### 3.3. O CONTROLE VETORIAL

Em aplicações nas quais é exigido controle de posição, existe a necessidade de um alto desempenho dinâmico (respostas rápidas e alta precisão), o motor elétrico deverá fornecer essencialmente um controle preciso de torque para uma faixa extensa de condições operacionais. Para essas aplicações, os acionamentos de corrente contínua sempre representaram uma solução ideal, pois a proporcionalidade da corrente de armadura e do fluxo em relação ao torque eletromagnético, nesse tipo de motor, proporciona um meio ideal para o controle do torque, conforme mostrado no Guia de Aplicação de Inversores da WEG (2005).

No entanto, com as modernas técnicas de acionamento de motores de indução trifásicos, os drives para acionamento de motores de corrente contínua não mais se apresentam como a melhor solução. Existem basicamente duas técnicas utilizadas na implementação do controle vetorial, aplicados aos motores de indução trifásicos: o denominado por método direto, desenvolvido por Blaschke (1972) e o método indireto de Hasse, discutido por Trzynadlowski (1980).

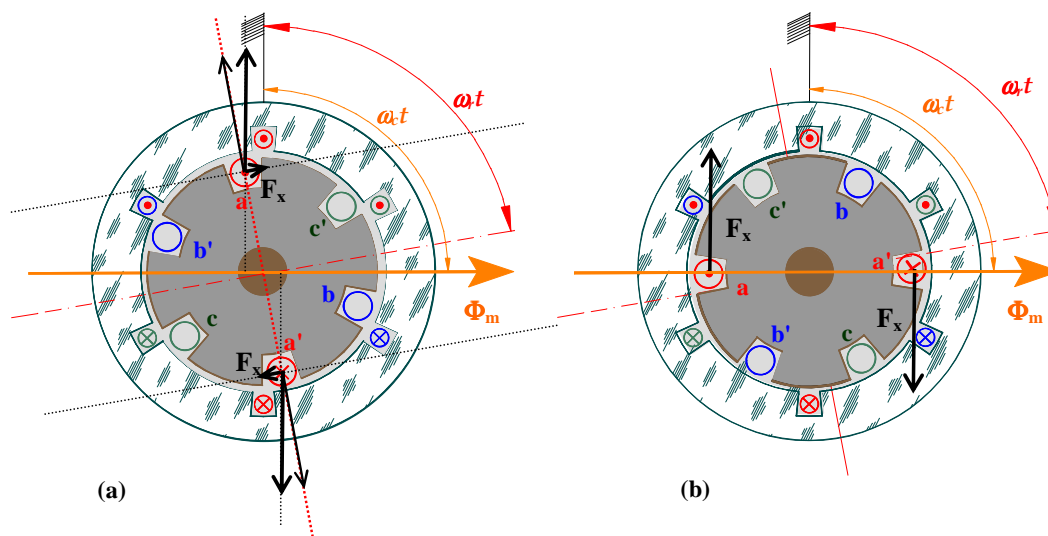
Na técnica do controle vetorial (ou fluxo orientado), o sistema de controle age diretamente no torque eletromagnético pela da estimação (ou medição) do fluxo magnético em relação à corrente do rotor. Considere-se que o torque eletromagnético nos motores de indução é diretamente proporcional ao produto do fluxo pela corrente do rotor, conforme estabelece a Eq. (4). Se o fluxo magnético for mantido em um valor ideal e suficientemente elevado para manter o torque em valores elevados, porém sem que leve o motor ao estado de saturação crítica, o torque permanece diretamente proporcional à corrente rotórica.

$$T_{em} = k\Phi_m I'_2 \cos \varphi_2 \quad (4)$$

Em que:

$T_{em}$	- torque eletromagnético medido em N.m;
$k$	- constante característica da máquina;
$\Phi_m$	- fluxo magnético máximo, em Weber;
$I'_2$	- corrente do rotor referida ao estator, medida em Ampère;
$\varphi_2$	- ângulo de fator de potência do circuito do rotor.

Na Figura (5), têm-se ilustradas duas condições para produção de torque no motor de indução trifásico. A primeira ilustrada na Fig. (5-a), representado a situação real inerente ao funcionamento do motor de indução trifásico, sem controle de torque. E a segunda, Fig. (5-b), quando o controle de torque (controle vetorial) é implementado.



**Figura 5.** Condições de produção de torque no motor de indução: (a) sem controle, (b) com controle vetorial.

Considerando os aspectos técnicos que ocorrem no funcionamento de um motor de corrente contínua, em que fluxo e corrente da armadura são independentes e sempre ortogonais, O mesmo não ocorre no motor de indução, em que a corrente rotórica é induzida pelo fluxo magnético produzido no estator. Assim para que se obtenha o mesmo processo no motor de indução, conforme ilustra a Fig. 5(b) tem-se que agregar as técnicas de controle vetorial controlando os dispositivos VSI. Ou seja, a técnica consiste basicamente em desacoplar o fluxo da corrente do estator, determinar a posição do rotor e aplicar o fluxo na posição ortogonal a fmm do rotor, o resulta sempre em torque máximo.

### 3.4. A FUNÇÃO FRENAGEM DINÂMICA EM EQUIPAMENTOS VSI

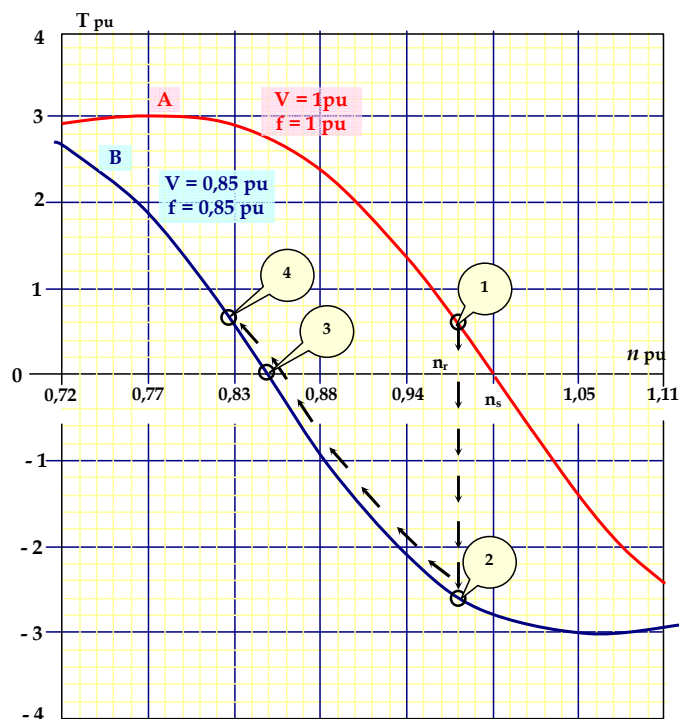
Os motores de indução acionados por drives de frequência variável oferecem ainda a vantagem de frenagem, drenando para um determinado circuito a energia mecânica armazenada no circuito rotórico. Os VSIs comerciais oferecem basicamente dois tipos de frenagem: a denominada por frenagem reostática e a frenagem por regeneração de energia para a rede elétrica. Nas duas técnicas de frenagem, o motor de indução funciona como gerador, fornecendo um torque contrário ao torque motor. Para se entender essa condição é suficiente analisar-se a Eq. (2), quando o escorregamento ficar negativo o torque no motor inverte, desenvolvendo um torque frenante. Efetuando-se no sistema de controle dos VSIs uma diminuição na frequência de operação, o escorregamento fica negativo conforme calculado pela Eq. (5).

$$s = \frac{f_1 - f_r}{f_1} \quad (5)$$

Em que:

- $f_1$  - frequência imposta ao motor pelo VSI, medida em Hz;
- $f_r$  - frequência do rotor medida em Hz;

Considerar a situação de um motor acionando uma carga que exige um conjugado de carga constante conforme ilustrado na Fig. (6). O ponto de operação **1** sobre a curva **A** corresponde ao ponto operacional do motor sob velocidade  $n$ .



**Figura 6.** Processo de frenagem para o motor de indução trifásico acionado por VSI.

Reduzindo-se abruptamente tensão e a frequência para 85% seu valor nominal, a modo que o motor opere agora sobre o ponto **2** da curva **B**. Considerando-se as novas condições impostas à máquina pelo VSI, a nova velocidade síncrona correspondente a esse novo valor de frequência está indicada pelo ponto **3**. Como a velocidade do motor não pode ser alterada instantaneamente (devido à inércia do rotor), o ponto de operação eletromagnético do motor passa instantaneamente do ponto **1** (curva **A**) ao ponto **2** (curva **B**). Nessas circunstâncias, o motor exerce um conjugado negativo de, aproximadamente, -2,6 pu, conforme indica o ponto **2** da curva **B**. Esse conjugado frenante é somado ao conjugado de carga (0,6 pu ponto **1** da curva **A**), de modo que o conjugado total de frenagem seja nesse instante de -3,2 pu. Para essas condições, a velocidade diminui muito rapidamente devido ao elevado valor do conjugado frenante.

À medida que a velocidade diminui, o conjugado exercido pelo motor (funcionando agora em gerador) diminui progressivamente, seguindo o trajeto da curva **B**. Atingindo a velocidade de 0,85 pu no ponto **3**, nesse ponto particular, o conjugado exercido pelo motor é nulo, mas a sua velocidade continua a diminuir rapidamente devido ao conjugado (0,6 pu) que está sendo imposto pela carga. Após o ponto **3**, o motor desenvolve um conjugado positivo que aumenta progressivamente, até o momento em que se iguala ao da carga (ponto **4**). Doravante, a velocidade permanece em 0,82 pu.

Sob o aspecto conservação de energia, devem-se efetuar algumas considerações sobre essa condição operacional. Quando o intervalo de funcionamento passa do ponto **2** ao ponto **3**, uma parte da energia cinética do rotor e da carga pode ser devolvida à rede, ou mesmo ser dissipada sobre um banco de resistores (frenagem reostática), porque durante esse intervalo, o motor funciona como gerador assíncrono. Por conseguinte, a frenagem é acompanhada de certa recuperação de energia armazenada na máquina.

Esse exemplo demonstra que se pode acionar uma carga e recuperar a energia, impondo ao motor uma frequência tal que a velocidade de rotação do campo seja inferior à do motor. Por fim, deve-se observar, por motivos de segurança e estabilidade do controle, que durante esse período de frenagem, é importante assegurar que a velocidade relativa entre o campo girante e o rotor ( $n_r$ ) seja em qualquer instante inferior à rotação relativa máxima  $n_{r(max)}$ , para não exceder o conjugado máximo do motor.

#### 4. A REFORMA DO SISTEMA DE ACIONAMENTO DA PONTE ROLANTE 650/30T

A ponte rolante objeto do estudo deste artigo, possui uma capacidade de 650/30t e é utilizada, principalmente, para o transporte de carga na central hidrelétrica (casa de força) da obra de Guri, situada na cidade de Puerto Ordaz, Venezuela. A Figura (7) ilustra o aspecto da ponte antes da reforma.





**Figura 7.** Vista geral da ponte rolante a ser reformada.

O projeto desenvolvido foi para promover a reforma total do equipamento, com substituição de todos os motores de indução do tipo anéis por motores com rotor em gaiola de esquilo do tipo “standard”. Além dos motores foi também substituído todo o sistema de acionamento elétrico dos motores por acionamentos do tipo inversores de frequência do tipo VSI.

A ponte rolante é constituída de dois carros, sendo que em cada carro tem-se um guincho de elevação principal e um guincho de elevação auxiliar. Considerando-se o aspecto movimentação da ponte, verificam-se que existem os movimentos referentes à elevação principal e a auxiliar, os carros do movimento de translação e o carro do guincho principal. Cada movimento é acionado por um conjunto inversor de frequência e um motor (sendo um motor por movimento).

Os inversores de frequência e motores da elevação principal dos carros 1 e 2, operam em sincronismo de velocidade com laço de controle de velocidade e torque com técnica vetorial em malha fechada com realimentação da posição rotórica e rotação por meio de encoder incremental. Em cada motor respectivo, instalou-se uma superposição de um laço de controle de posição realimentada por encoder absoluto no respectivo cilindro de recolhimento dos cabos.

Os inversores de frequência e motores dos carros 1 e 2 operam no sistema de mestre/escravo, com divisão de torque (par) da carga, sendo o mestre o carro 1, com laço de controle de velocidade e torque (par) vetorial fechado com realimentação por encoder incremental. O escravo, o carro 2, com laço de controle de velocidade e torque (par) vetorial fechado com realimentação por encoder incremental, em seu respectivo motor, porém com referência de torque (par) proveniente do inversor de frequência do carro 1.

Os inversores de frequência escolhidos para serem implementados no projeto foram os inversores de frequência da WEG da série CFW-09 dotados de módulo de controle de velocidade e torque e com as características: controle escalar (V/f) ou controle vetorial programável no mesmo equipamento, controle vetorial com realimentação por encoder ou “sensorless”, função de frenagem reostática ou frenagem regenerativa.

## 5. CONCLUSÕES

Após a implantação do projeto de reforma, foi possível durante a fase de comissionamento, observarem-se as seguintes vantagens:

- A dinâmica do acionamento melhorou acentuadamente, pois os inversores de frequência permitem um ajuste refinado durante as manobras da ponte;
- A substituição de pesadas alavancas de comando por controles do tipo joystick, concedem melhores condições de manobra aos operadores;
- Redução dos níveis de ruído, nas imediações da ponte, devido à ausência de grandes chaveamentos eletromecânicos;
- Ausência de transitórios e de picos de corrente sobre os motores e sistema elétrico devido ao chaveamento de bancos de resistências.

Entre outras, ainda podem-se ter como vantagens a redução das práticas de manutenção nos motores e acessórios da ponte. Naturalmente, o consumo de energia será reduzido, não somente devido ao acionamento, mas também pela redução dos componentes elétricos acessórios instalados.

O estudo prévio das características teóricas dos AWs, bem como da teoria de motores de indução trifásicos, forneceram os subsídios necessários à implementação do projeto de reforma da ponte rolante, bem como na especificação dos equipamentos.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a empresa ALSTOM Hydro Energia Brasil Ltda., por fornecer todos os subsídios para elaboração deste artigo.

## 7. REFERÊNCIAS

ALSTOM Hydro Energia do Brasil, 2006, “Projeto completo de reforma da Ponte Rolante 650/30t da obra de Guri”, Publicação interna, Taubaté, Brasil.

Blaschke, F., 1972, “The Principle of Field Orientation as Applied to the new Transvektor Closed-Loop Control System for Rotating-Field Machines”, Siemens Review, Vol. XXXIX, N. 5, p. 189-236, maio 1972.

Falcone, A. G., 1985, “Eletromecânica”, Vol. 2, Ed. Edgard Blücher, São Paulo, Brasil, p. 323-354.

Santos, A. H. M., Bortoni, E. C., 2006, “Conservação de Energia: Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações”, Eletrobrás, PROCEL Educação, FUPAI, Itajubá, Brasil, p. 397-436.

Trzynadlowski, A. M., 1980, “The Field Orientation Principle in Control of Induction Motors”, Klumer Academic Publishers, Cap. 3, p. 87-95.

WEG, 2005, “Guia de aplicação de inversores de frequência”, 3ª ed., WEG, Jaraguá do Sul, Brasil.

WEG, 2006, “Centro de treinamentos a clientes – Módulo 2: variação de velocidade”, WEG, Jaraguá do Sul, Brasil. SIEWERT, C.E. A radiative transfer inverse-source problem for a sphere. *J. Quant. Spectrosc. Radiative Transfer*, vol. 52, p. 157-160, 1994.

YI, H.C., SANCHEZ, R., MCCORMICK, N.J. Bioluminescence estimation from ocean in situ irradiances. *Applied Optics*, vol. 31, p. 822-830, 1992.