

MOTORLAB SYSTEM - UMA NOVA CONCEPÇÃO EM ENSAIOS DE MOTORES ELÉTRICOS

Emerson Silveira Serafim ⁽¹⁾ Luiz von Dokonal ⁽²⁾
Alexandre Odair Floriano ⁽³⁾

(1) Sociedade Educacional de Santa Catarina – SOCIESC deste equipamento inovador, podem ser destacadas a rapidez, a repetibilidade e a facilidade na realização dos ensaios, pois os testes são feitos sem carga acoplada ao eixo do motor. Também são utilizados para a análise, diferentemente do que ocorre nos dinamômetros tradicionais. Em virtude da importância do equipamento, este artigo tem o objetivo de apresentar as principais características da bancada de ensaios de motores elétricos, o princípio de funcionamento e os tipos de ensaios realizados pela bancada.

Resumo. Este artigo tem o objetivo de apresentar as principais características de uma bancada de ensaios de motores elétricos adquirida em Israel através da parceria entre a Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, a Embraco e a SOCIESC, que utiliza uma nova concepção de medição de torque, diferente do tradicional dinamômetro. Serão apresentados o método e todas as funcionalidades da bancada.

Palavras-chave: MotorLab System, Ensaio de motores elétricos, Torque, Velocidade

INTRODUÇÃO

Atualmente, a busca por equipamentos mais eficientes e competitivos, tanto sob o ponto de vista energético quanto sob o ponto de vista econômico e ambiental, tem forçado muitas empresas a buscarem novas alternativas através de suas áreas de pesquisa e desenvolvimento. Com isto em mente, em 2004 os departamentos de pesquisa da Embraco e da SOCIESC iniciaram a primeira parceria tecnológica na área de desenvolvimento de motores elétricos de baixa potência. Um projeto foi submetido à FINEP e aprovado; nasceu, assim, o projeto TOPOLOG, intitulado Projeto de Desenvolvimento de Novas Topologias de Motores Elétricos para Utilização em Compressores Herméticos. Entre os objetivos a serem alcançados, um em especial está relacionado com o equipamento de medições de performance em motores de potência na faixa de refrigeração doméstica de 30 a 1000W (plano de trabalho do projeto topomotor). Após diversas reuniões, optou-se pelo equipamento desenvolvido pela empresa israelense MEA Testing Systems Ltda. Entre as características

1 A BANCADA DE ENSAIOS

Conforme dados do fabricante a bancada de ensaios (MotorLab) representa o estado da arte em sistemas de testes de motores elétricos, consistindo em um equipamento compacto e um software dedicado. A grande inovação dessa bancada está no fato de que os ensaios são realizados sem carga e as informações elétricas e mecânicas são obtidas, respectivamente, por meio do hardware que analisa a corrente e a tensão aplicada ao motor e de um encoder de precisão para leitura da velocidade. Esta bancada é aplicada a diversos tipos de motores elétricos, tais como motores de indução monofásicos e trifásicos, motores Brushless e motores de corrente contínua. Para cada tipo de motor existe um hardware (módulo) específico. A bancada adquirida no projeto possui as especificações apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 – Módulos da bancada de testes e seus respectivos motores

No. módulo	Tipo de motor
51118	AC Brushless

33200	Monofásico de indução (PSC)	53018/51112	Trifásico de indução
-------	-----------------------------	-------------	----------------------

(2) Empresa Brasileira de Compressores S.A. – EMBRACO, atual Whirlpool S.A.

(3) Sociedade Educacional de Santa Catarina – SOCIESC

A figura 1 mostra a bancada completa, respectivamente, de cima A seguir, são apresentadas as formas de conexão dos para baixo: a) módulo Brushless (51118); b) módulo monofásico diferentes motores aos respectivos módulos. A figura 2 apre(33200); c) entrada do encoder e chaves seletoras (monofásico senta as conexões do motor Brushless com inversor ao módulo ou trifásico); d) computador dedicado (tampa aberta); f) módulo 51118. trifásico (51112/53018).

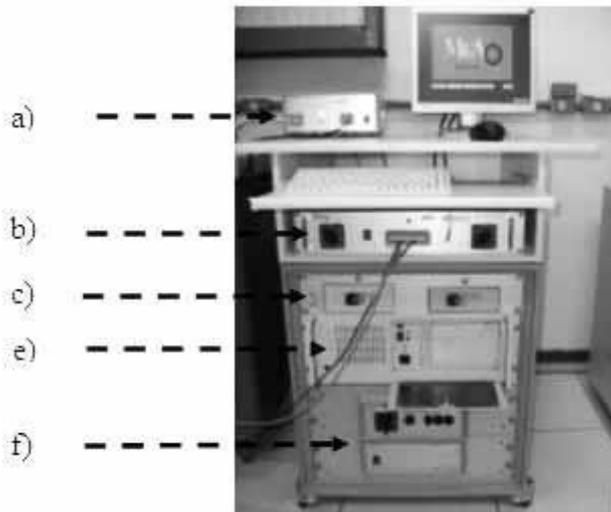
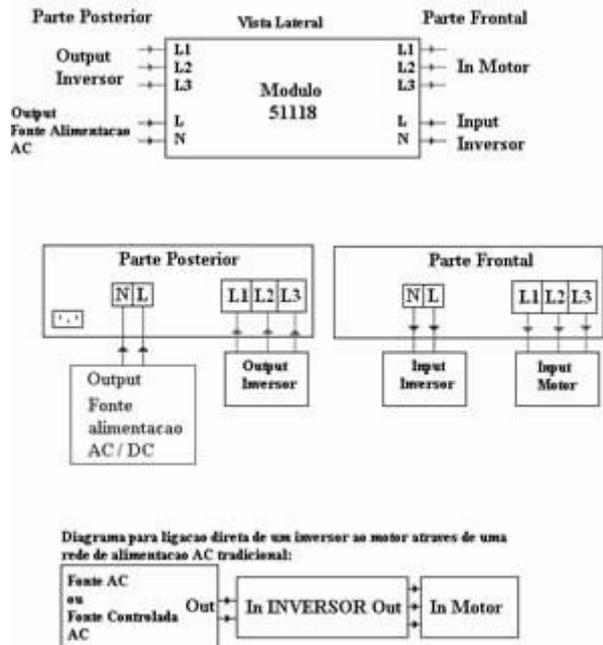


Figura 1 – Bancada de testes MotorLab



Como já mencionado, o equipamento foi desenvolvido para

testar motores elétricos de baixa potência. A tabela 2 apresenta a Figura 2 – Esquema de ligação do motor Brushless com inversor ao as principais características elétricas e mecânicas dos módulos módulo 51118 (faixa de valores nominais).

Tabela 2 – Características elétricas e mecânicas dos módulos

A figura 3 apresenta as conexões do motor Brushless DC de baixa tensão ao módulo 51118.

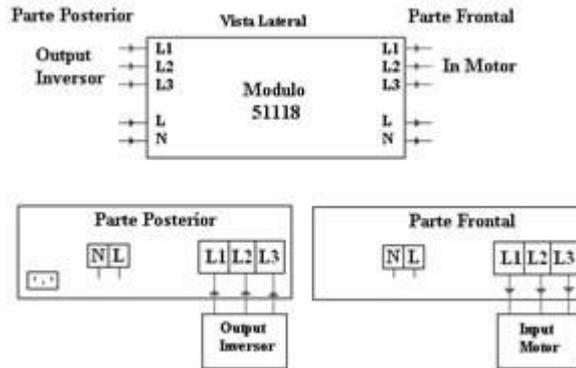


Figura 3 – Esquema de ligação do motor Brushless de baixa tensão com inversor

A

figura 4

apresenta

as

conexões

do motor

monofásico de indução ao módulo 33200.

Observam-se as conexões do capacitor de partida e das bobinas: principal e auxiliar.

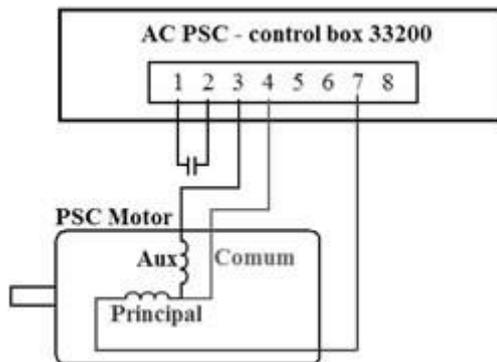


Figura 4 – Esquema de ligação do motor monofásico de indução com capacitor de partida

A figura 5 apresenta as conexões do motor trifásico de indução ao módulo 53018.

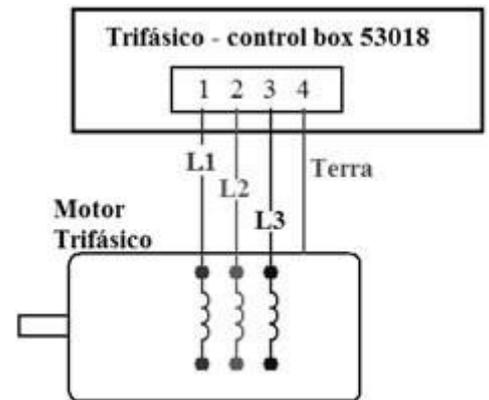


Figura 5 – Esquema de ligação do motor trifásico

Em virtude das elevadas velocidades dos motores Brushless, a bancada possui três tipos de sensores de velocidade: tipo 1 - até 4.000 rpm; tipo 2 - até 8.000 rpm; e tipo 5 - até 48.000 rpm, conforme se observa na figura 6.



Figura 6 – Encordes para medição de velocidade, da esquerda para direita, tipo 1, tipo 2 e tipo 5

Com relação ao software dedicado utilizado na bancada, apresenta-se na figura 7 a tela principal. Nessa tela, tem-se a possibilidade de visualização dos testes realizados anteriormente, por meio da opção “Motors”, ou, ainda, de iniciar a tela de testes de motores através da opção “Tests”.



Figura 7 – Tela principal do software

A figura 8 apresenta a tela de teste de motores:

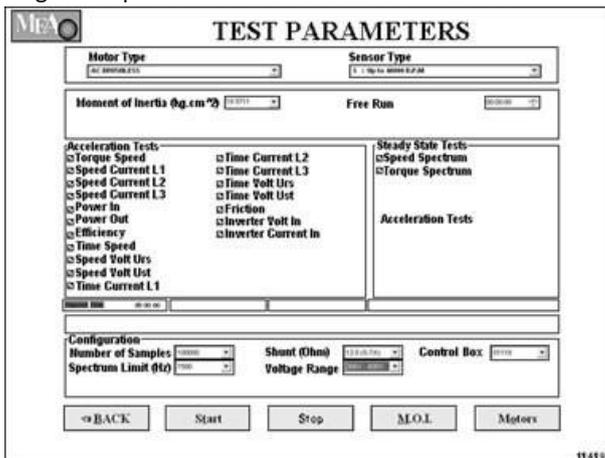


Figura 8 – Tela de testes de motores

Esta tela é comum a todos os motores, porém, no momento da seleção do motor através da opção “Motor Type”, alguns testes (acceleration tests) mais específicos estarão disponíveis, conforme indicado na tabela 3.

Tabela 3 – Testes disponíveis para os diferentes motores

TIPOS DE TESTES	AC Brushless	Monofásico de indução	Trifásico de indução
Torque Speed	SIM	SIM	SIM
Speed current L1	SIM	SIM	SIM
Speed current L2	SIM		SIM
Speed current L3	SIM		SIM
Power In	SIM	SIM	SIM
Power Out	SIM	SIM	SIM
Efficiency	SIM	SIM	SIM
Time Speed	SIM	SIM	SIM
Speed Volt Urs	SIM	SIM	SIM

Speed Volt Ust	SIM		SIM
Time Current L1	SIM		SIM
Time Current L2	SIM		
Time Current L3	SIM		
Time Volt Urs	SIM		
Time Volt Ust	SIM		
Friction	SIM	SIM	SIM
Inverter Volt In	SIM		
Inverter Curr. In	SIM		
Torque Time		SIM	SIM
Volt. Main Aux		SIM	
V Aux		SIM	
Speed Spectrum	SIM	SIM	SIM
Torque Spectrum	SIM	SIM	SIM
Oscillations		SIM	SIM

Outras informações importantes da tela de testes referem-se à escolha do tipo de sensor de velocidade (sensor type), ao número de amostras (number of samples), aos limites de corrente através de shunts, ao momento de inércia do motor e, no caso de motores monofásicos, ao valor do capacitor, além da opção de realizar o teste com a bobina auxiliar sendo desligada após a partida (auxiliary off), ou sem o capacitor de partida (start condition) ou partida normal, com a bobina auxiliar e o capacitor (run capacitor).

2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

A bancada possui como característica principal ser simples desde a forma de conexão do motor aos módulos (mencionada anteriormente) até a obtenção das curvas características.

As equações que são apresentadas a seguir são obtidas através de duas informações: o momento de inércia e a velocidade angular do motor. As informações de origem elétrica são obtidas através dos módulos (tensão, corrente e potência). A fim de se obter valores confiáveis, é necessário que a fonte de energia elétrica dos motores possua excelentes características. Pensando nisto, através do projeto, foi adquirida uma fonte AC da empresa California Instruments, de 4500VA que permite,

inclusive, alterar a forma de onda da alimentação e, assim, verificar seus efeitos no comportamento do motor.

Voltando às equações, parte-se da equação dinâmica:

$$T_{\text{motor}}(t) - T_{\text{mancal}}(t) - T_{\text{carga}}(t) = J \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} \quad (1)$$

Onde:

$T_{\text{motor}}(t)$ é o valor instantâneo do torque gerado pelo motor; $T_{\text{mancal}}(t)$ é o valor instantâneo do torque de atrito dos mancais; $T_{\text{carga}}(t)$ é o valor instantâneo do torque de carga imposto ao motor; J é o momento de inércia total da parte girante; $\omega(t)$ é a velocidade angular instantânea da parte girante.

Como usualmente o que se quer é o torque gerado pelo motor, isola-se o termo T_{motor} e obtém-se:

$$T_{\text{motor}}(t) = J \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} + T_{\text{mancal}}(t) + T_{\text{carga}}(t) \quad (2)$$

A equação 2 é a essência do método de medição.

Uma vez que o torque de carga não exista ($T_{\text{carga}} = 0$) e o torque de mancalização seja desprezivelmente pequeno ($T_{\text{mancal}} = 0$), tem-se:

$$T_{\text{motor}}(t) = J \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} \quad (3)$$

Ou seja, conhecendo-se J , mede-se a velocidade angular $\omega(t)$ e ao derivar em relação ao tempo, obtém-se a medida instantânea de torque gerado pelo motor. Para obter o torque médio ao longo de uma volta (que na realidade é o que o processo convencional de medição faz), basta integrar o sinal

$T_{\text{motor}}(t)$ gerado.

No caso de não se conhecer o momento de inércia do motor, a bancada possui esta opção de cálculo através da função MOI (moment of inertia). Este cálculo é iniciado com o motor a vazio e, após

alguns testes, o software informa que se deve inserir um disco (flywheel) com momento de inércia conhecido (8,85 kg.cm² ou 12,98 kg.cm²). Esse processo é finalizado ao se somar o valor informado pelo software com o valor do disco e o posterior armazenamento no banco de dados da bancada. A figura 9 apresenta um motor com o disco e o encoder. Para qualquer motor adota-se o procedimento mencionado anteriormente.

Ao se conhecer o momento de inércia, podem-se iniciar os ensaios.



Figura 9 – Motor após os testes de cálculo do momento de inércia

Nod inamômetro aM EA, a velocidade angular é obtida por um encoder de precisão patenteado por eles, e a derivada é calculada via DSP por um processo igualmente patenteado. A grande vantagem deste método é a ausência de medição direta de torque, que costuma ser o ponto fraco de qualquer dinamômetro. A grande desvantagem é que um processo dinâmico, ou seja, a velocidade, precisa estar variando para se medir o torque (não há como medir rendimento em um determinado ponto de carga com grande precisão).

3 TIPOS DE ENSAIOS

As curvas mostradas a seguir foram obtidas em um motor monofásico de indução com as características apresentadas na tabela 4.

artigos

Tabela 4 – Característica do motor e das informações do software da bancada

Motor Type	PSC
Número do módulo	33200
Tensão de alimentação	115V
Frequência da fonte	60 Hz
Tipo de sensor	1
Momento de inércia calculado	9,4784 kg.cm ²
Número de samples	80.000
Limite de espectro	4.000 Hz
Modo de operação	Auxiliary off
Shunt (ohms)	0,025

A figura 10 apresenta a curva tradicional torque-velocidade para motores elétricos. Nessa figura, observa-se a obtenção do torque de partida, do torque máximo e a velocidade a vazio.

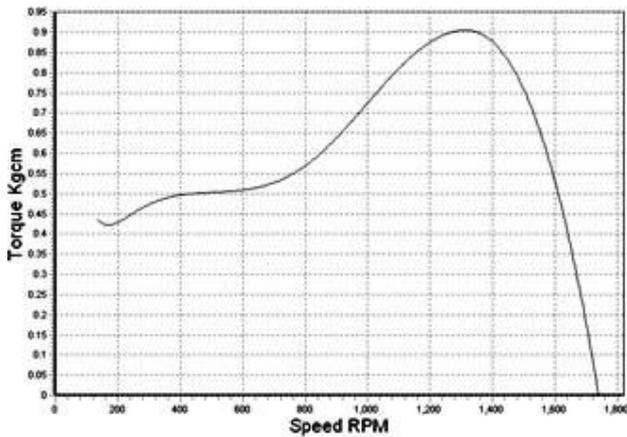


Figura 10 – Curva torque x velocidade

A figura 11 apresenta o comportamento da corrente na bobina principal à medida que o motor está acelerando até a velocidade máxima (a vazio).

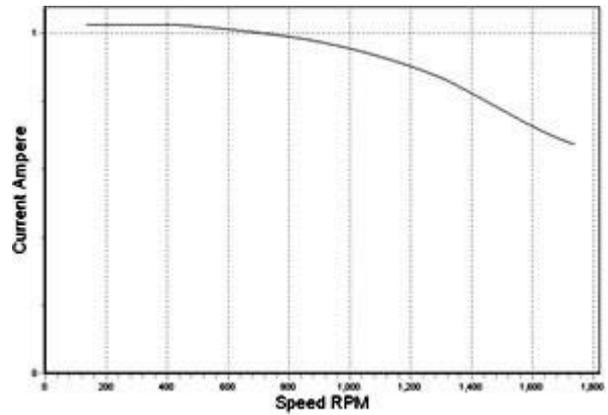


Figura 11 – Curva corrente x velocidade

A figura 12 apresenta o comportamento da potência de entrada à medida que o motor está acelerando até a velocidade máxima (a vazio).

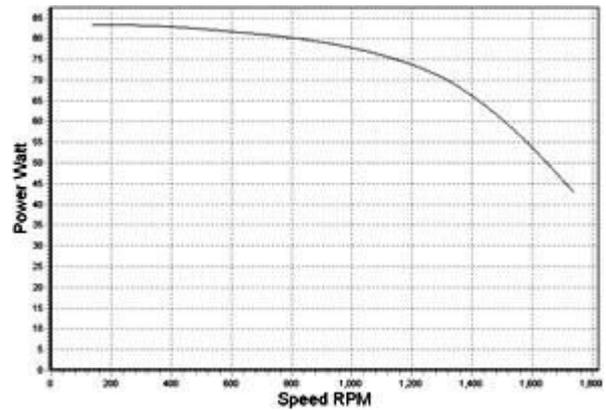


Figura 12 – Curva potência de entrada x velocidade

A figura 13 apresenta o comportamento da potência de saída à medida que o motor está acelerando até a velocidade máxima (a vazio).

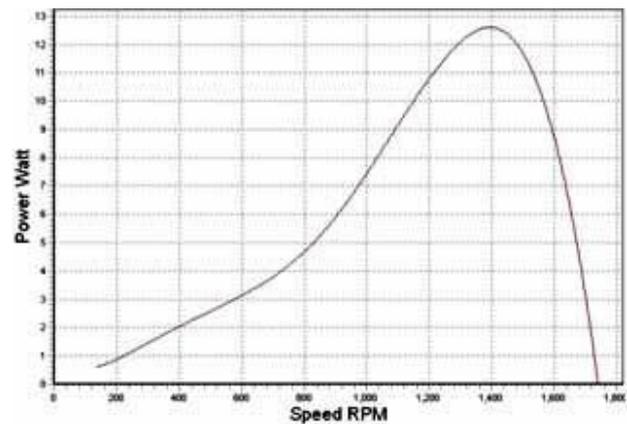


Figura 13 – Curva potência de saída x velocidade

A figura 14 apresenta o comportamento da eficiência do motor, tomando como parâmetros as curvas das duas figuras anteriores. Pode-se observar uma eficiência de 19,5% na velocidade de 1450 rpm.

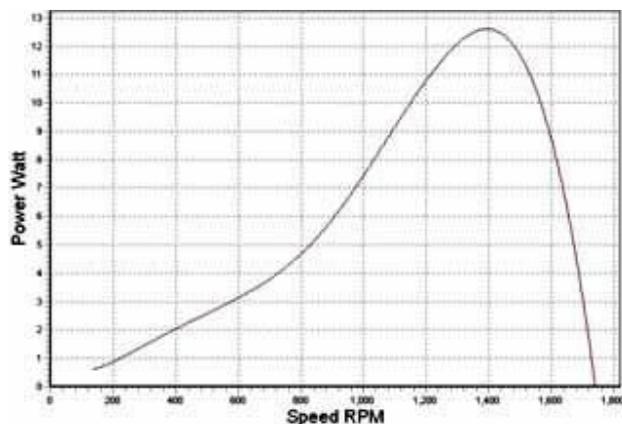


Figura 14 – Curva da eficiência x velocidade

A figura 15 apresenta o comportamento da velocidade do motor ao longo do tempo. Nela, pode-se observar que o motor levou aproximadamente 3s para atingir a velocidade de aproximadamente 1700 rpm.

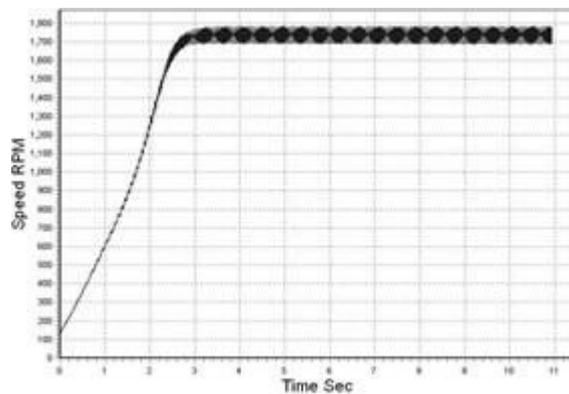


Figura 15 – Curva velocidade x tempo

A figura 16 apresenta o comportamento do torque do motor ao longo do tempo. Pode-se observar que o motor atingiu o torque máximo em aproximadamente 2,1s.

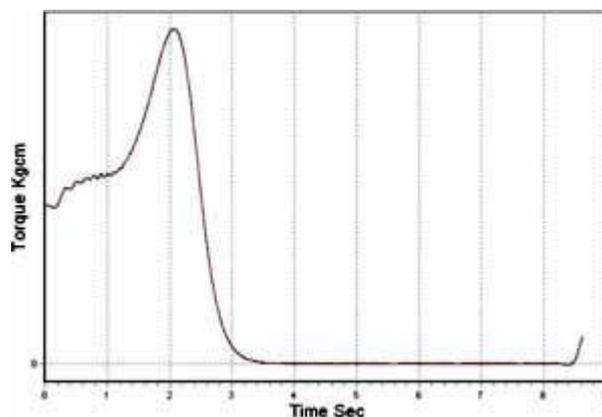


Figura 16 – Curva do torque x tempo

A figura 17 apresenta o comportamento da fricção. Este teste permite observar uma vibração na velocidade de teste permite medir perdas de fricção e detectar defeitos nos de 42 rpm na frequência de 25 Hz, podendo indicar problemas enrolamentos, mecânicos ou eletromecânicos.

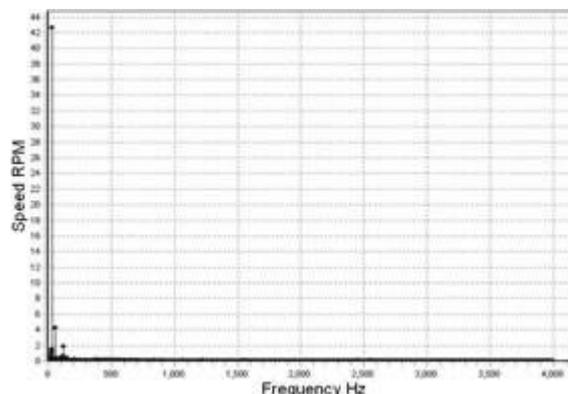
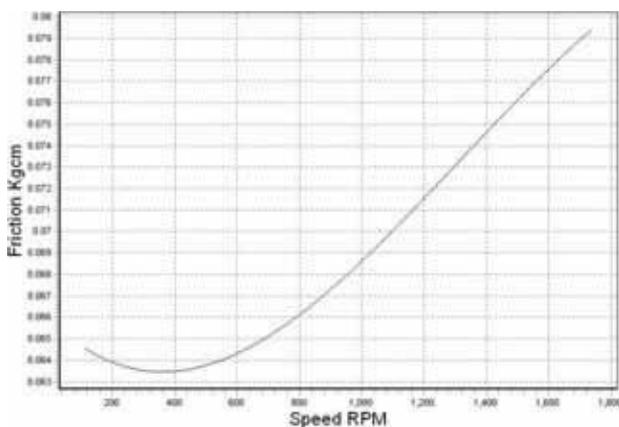
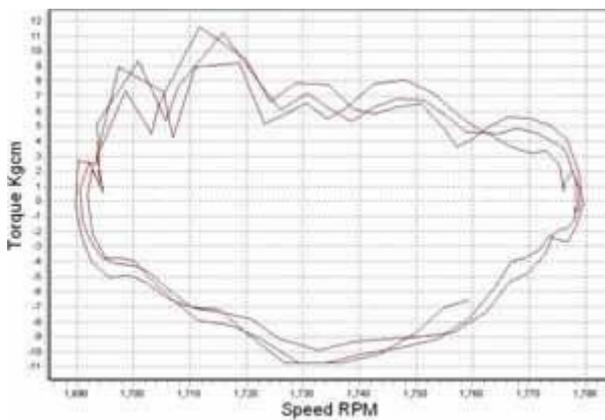


Figura 19 – Análise espectral da velocidade

artigos

Figura 17 – Curva da Fricção x velocidade

A figura 18 apresenta o comportamento oscilante do torque e da velocidade. Este teste permite detectar, medir, analisar e relatar vibrações. Considerando-se o centro da curva como sendo o estágio em carga (para 1735 rpm e torque nulo), pode-se observar a seguinte oscilação do torque e da velocidade: 10 kg.cm e 45 rpm.



A figura 20 apresenta a análise espectral do torque. Da mesma forma como ocorre na análise da velocidade, este teste permite observar uma vibração no torque de 7.8 kg.cm na frequência de 25 Hz, podendo indicar problemas mecânicos

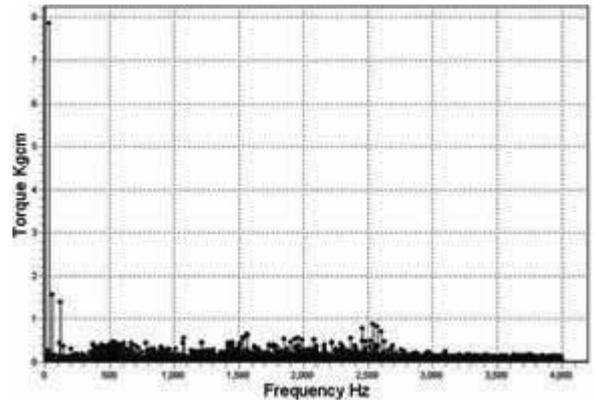


Figura 20 – Análise do espectral do torque

CONCLUSÃO

ou eletromecânicos.

Como já mencionado, a bancada se destaca pela

Figura 18 – Curva de oscilação em função do Torque e da velocidade rapidez dos ensaios, pois, dependendo do número de amostras, pode-se realizar o ensaio em 3 segundos. Destaca-se, ainda, pela repetibilidade, que é um assunto para outro artigo, e pela facilidade na realização dos ensaios, pois são realizadas poucas conexões e ajustes dos parâmetros no software. É importante destacar, também, as informações que são obtidas dos gráfi-

cos como valores máximos de torque e na partida, perdas na desaceleração, oscilações no torque e velocidade, provocados por problemas mecânicos etc. Por fim, ficam evidenciadas a qualidade e a importância do equipamento no desenvolvimento de novas topologias de motores resultando, assim, em motores elétricos com maior eficiência energética.

Cristóforo, Flavio Kaluff e Aleandro Espíndola. Aos colaboradores da SOCIESC, diretor geral Sandro Murilo Santos; diretores Roque Antônio Mattei, Wesley Masterson Abreu, Cláudio von Dokonal,

AGRADECIMENTOS

Ao chefe de departamento da FINEP, Ricardo F. Jabace, à analista técnica Vânia Naylor e à analista financeira Sâmara Cardoso. Aos colaboradores da Whirlpool, unidade EMBRACO, presidente Ernesto Heinzmann; diretor corporativo de Tecnologia Roberto Campos, aos gestores Irineu Henrique Setter e Reinaldo Maykot; ao responsável pelas Relações Institucionais, Guilherme Marco de Lima; aos pesquisadores Luiz von Dokonal, FINEP. Plano de trabalho do projeto topomotor. Convênio nº: 0-1-04-0634-00. Referência nº:

2069/04. Rio de Janeiro, 2005.

MEAMotorLab. Software User Manual. Israel, 2003.

SERAFIM, E. S. Relatório projeto topomotor. Joinville: IST, 2008.

REFERÊNCIAS

Vicente M. Resende e Edgar A. Lanzer. Ao departamento de pesquisa, professor Marcos E. Balzer, Patrícia E. Rosa, Deise e Simony. Ao departamento de compras e recebimento, Gisele Cristina, Vanderley Souza, Ana Marta G. Bittencourt, Eduardo de Oliveira, Sergio A. Braga e Justino Machado. Ao departamento financeiro, Fernando Ferrari, Micheli C. Moraes e Sueli L. Agüero. E ao setor jurídico, senhorita Alessandra Ramos.