



## XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

### Laboratório de Otimização de Sistemas Motrizes

<b>Carlos Aparecido Ferreira</b>	<b>Fernando Pinto Perrone</b>	<b>Vanda Alves Santos</b>
<b>Centrais Elétricas Brasileiras S.A.</b>	<b>Centrais Elétricas Brasileiras S.A.</b>	<b>Centrais Elétricas Brasileiras S.A.</b>
<a href="mailto:carlosaparecido@eletrobras.com">carlosaparecido@eletrobras.com</a>	perrone@eletrobras.gov.br	vandaas@eletrobras.gov.br

<b>Bráulio Romano Motta</b>	<b>Humberto Luiz de Oliveira</b>	<b>Christovam Leal Chaves</b>
<b>Centrais Elétricas Brasileiras S.A.</b>	<b>Centrais Elétricas Brasileiras S.A.</b>	<b>Centrais Elétricas Brasileiras S.A.</b>
brauliorm@eletrobras.gov.br	humberto.oliveira@eletrobras.com	christovam.chaves@eletrobras.com

#### Palavras-chave

Bancadas de Ensaio  
Conhecimentos Multidisciplinares  
Eficiência Energética  
Sistemas Motrizes

#### Resumo

O objetivo deste informe técnico é apresentar a capacitação laboratorial que vem sendo realizada em universidades públicas brasileiras pela **ELETROBRÁS**, através do **PROCEL** indústria, em suporte às ações de eficiência energética industrial em andamento junto às federações de indústria estaduais.

O Laboratório de Otimização de Sistemas Motrizes - **LAMOTRIZ** é composto por pelo menos 4 bancadas de ensaios, para simular sistemas de acionamento através de motores de indução trifásicos padrão e de alto rendimento. As cargas acionadas são bomba centrífuga, compressor, ventilador, correia transportadora, exaustor e dinamômetro.

O **LAMOTRIZ** é um ponto focal de desenvolvimento de pesquisas, ensino e extensão em sistemas motrizes, onde conhecimentos multidisciplinares são disseminados, eliminando a lacuna existente na engenharia no que tange aos sistemas motrizes industriais, através da sinergia entre áreas diferentes, como a elétrica e a mecânica. Além disso, o laboratório permite que os alunos tenham acesso ao que há de mais moderno em automação e controle industrial e que vem sendo utilizado nas indústrias modernas. Com isso, profissionais altamente capacitados estarão disponíveis no mercado para realização de trabalhos de alto nível para as indústrias brasileiras.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 - IMPORTÂNCIA DOS SISTEMAS MOTRIZES NO BRASIL

O setor industrial é responsável por 45,88% do consumo de energia elétrica no Brasil (1), conforme apresentado na Figura 1. Por outro lado, segundo o Balanço de Energia Útil – BEU, de 1995, o consumo de energia nos sistemas motrizes corresponde a 49% do total de energia elétrica consumido na indústria, conforme pode ser observado na Figura 2. Sistemas motrizes compreendem, predominantemente, acionamento eletro-eletrônico, motor elétrico, acoplamento motor-carga, cargas mecânicas acionadas (bombas, compressores, ventiladores, exaustores e correias transportadoras) e instalações (transporte e consumo dos fluidos).

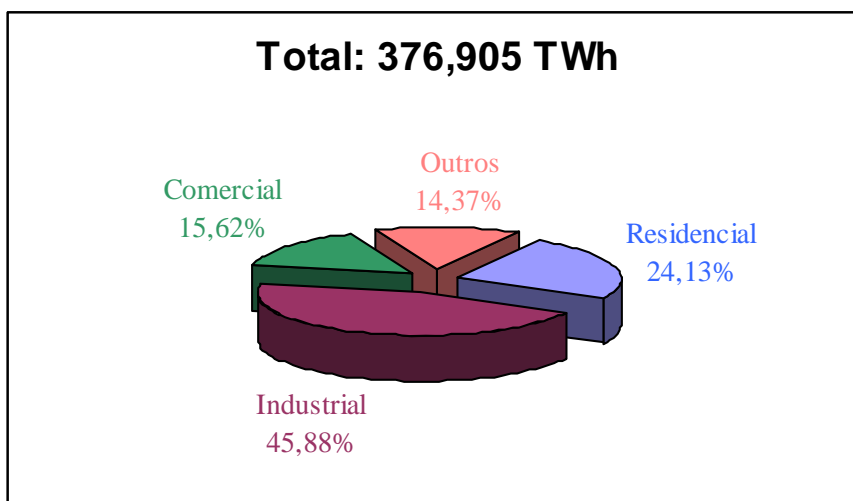


FIGURA 1 – Consumo de energia elétrica – 2007

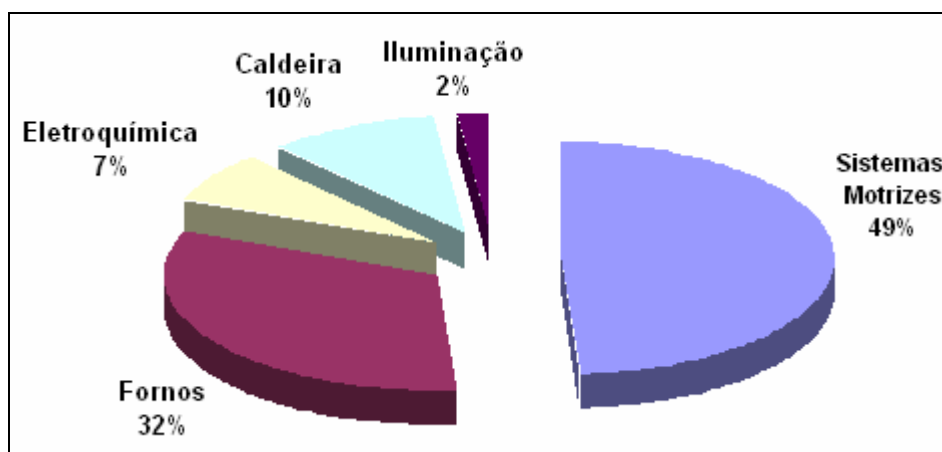


FIGURA 2 – Consumo de energia elétrica no setor industrial

## 1.2. O PROCEL INDÚSTRIA – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA INDUSTRIAL

O **PROCEL INDÚSTRIA** foi criado no ano de 2003 e tem como objetivo combater o desperdício de energia elétrica nos sistemas motrizes das indústrias brasileiras. O principal instrumento utilizado pelo **PROCEL INDÚSTRIA** para atingir seu objetivo é a realização de convênios com federações de indústria estaduais. Tais convênios são divididos, basicamente, em quatro etapas:

1 - realização de Estudo Setorial que subsidie a determinação dos ramos de atividade industrial que apresentam maior consumo de energia elétrica em sistemas motrizes; e treinamento de multiplicadores (professores e consultores autônomos) através do curso “Otimização de Sistemas Motrizes Industriais” com carga horária de 176 horas. Nesta etapa é, também, realizada sensibilização dos empresários de modo a obter adesão das indústrias ao programa;

2 - capacitação de agentes (técnicos e engenheiros) das indústrias pelos multiplicadores através de curso de 40 horas;

3 – Implementação e divulgação de projetos de demonstração, denominados casos de sucesso;

4 – Realização de autodiagnósticos pelos agentes, sob orientação dos multiplicadores, implementação das medidas economicamente viáveis e divulgação dos resultados através de *workshop*.

No sentido de prestar suporte e perenizar as ações desenvolvidas com as federações de indústria, o programa implanta, através de convênios com universidades públicas, laboratórios de otimização sistemas motrizes para fins didáticos, cuja concepção será detalhada neste informe técnico.

## 2. LABORATÓRIO DE SISTEMAS MOTRIZES INDUSTRIAIS

### 2.1. MOTIVAÇÃO

A realização de diagnósticos energéticos nas indústrias abordando sistemas motrizes requer conhecimentos multidisciplinares, contemplando, dentre outros, conhecimentos de eletricidade e de mecânica, caso contrário, as recomendações do trabalho se resumem à simples substituição de motores elétricos acompanhada, algumas vezes, de análise tarifária e de correção do fator de potência. Isso ocorre porque a formação técnica tradicional não permite que o profissional aprofunde a análise além do motor elétrico, pois o aluno aprende, no curso de Engenharia Elétrica, que o motor de indução trifásico, operando em regime permanente, alimentado por tensões elétricas trifásicas equilibradas, é um circuito monofásico equivalente constituído por impedâncias longitudinais e transversais, sendo a carga representada por um resistor, cuja resistência é variável em função dos escorregamentos. Como os motores elétricos são máquinas que possuem eficiência alta ao converterem energia elétrica em mecânica, o maior potencial de redução do consumo de energia elétrica em sistemas motrizes está nas cargas mecânicas acionadas, abordadas em um curso de Engenharia Mecânica.

A **ELETROBRÁS** percebeu esta fragmentação no ensino de sistemas motrizes e, de modo inovador, cria nas universidades, através do Laboratório de Otimização de Sistemas Motrizes, um ponto focal de desenvolvimento de pesquisas, ensino e extensão em sistemas motrizes, onde conhecimentos das duas engenharias são disseminados. O Laboratório de Otimização de Sistemas Motrizes Industriais - **LAMOTRIZ** está iniciando a eliminação da lacuna existente na engenharia no que tange aos sistemas motrizes industriais, através na sinergia entre áreas diferentes, como a elétrica e a mecânica, já verificada na fase da especificação dos equipamentos.

### 2.2 BANCADAS DE ENSAIO

O Laboratório de Otimização de Sistemas Motrizes é composto por, pelo menos, 4 bancadas de ensaios, para simular sistemas de acionamento através de motores de indução trifásicos padrão e de alto rendimento. As cargas acionadas são bomba centrífuga, compressor, ventilador, correia transportadora, exaustor e dinamômetro, este último com objetivo de simular diversos percentuais de carga. As Figuras 3, 4, 5, 6 e 7 apresentam o esquema básico de cada uma dessas bancadas. A Tabela 1 apresenta o significado das abreviaturas utilizadas nas figuras.

Cada bancada de ensaio tem um sistema de medição completo para grandezas elétricas como tensões, correntes, potências ativa e reativa, fator de potência e frequência, além de grandezas mecânicas e ambientais distribuídas entre temperaturas ambiente e de carcaça do motor, velocidade angular, indicador de posição e grandezas associadas à bancada (pressão, vazão, velocidade angular, torque,

etc.). O controle da vazão dos fluidos pode ser realizado através de inversores de frequência ou de válvulas proporcionais.

Controladores lógico programáveis permitem que os ensaios sejam realizados automaticamente e que os dados sejam registrados e armazenados, para gerar relatórios detalhados ao final de cada atividade. Cada uma das bancadas tem um supervisor, com a função de ajustar os parâmetros dos ensaios e monitorar os sinais eletro-mecânicos, disponíveis também em indicadores digitais. As bancadas são conectadas entre si através de uma rede de dados local, que faz a interligação a um supervisor central, permitindo que cada ensaio seja visualizado por outros setores da unidade de ensino ou monitorado pela internet, conforme apresentado na Figura 8.

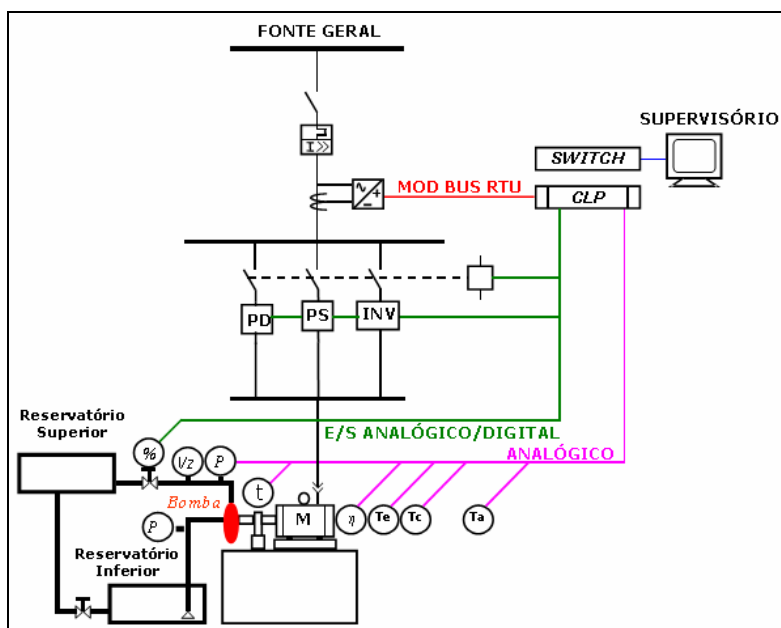


FIGURA 3 – Bancada de Bomba

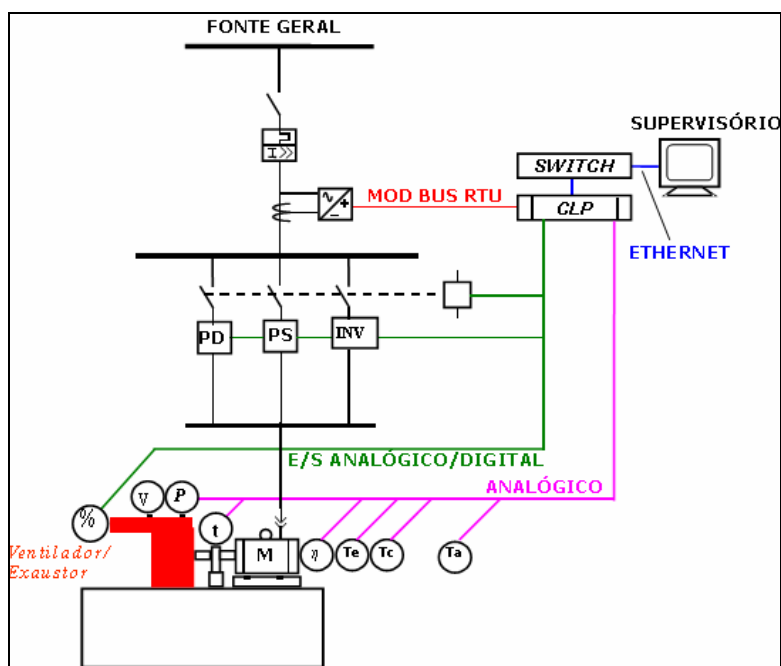


FIGURA 4 – Bancada de Ventilador / Exaustor

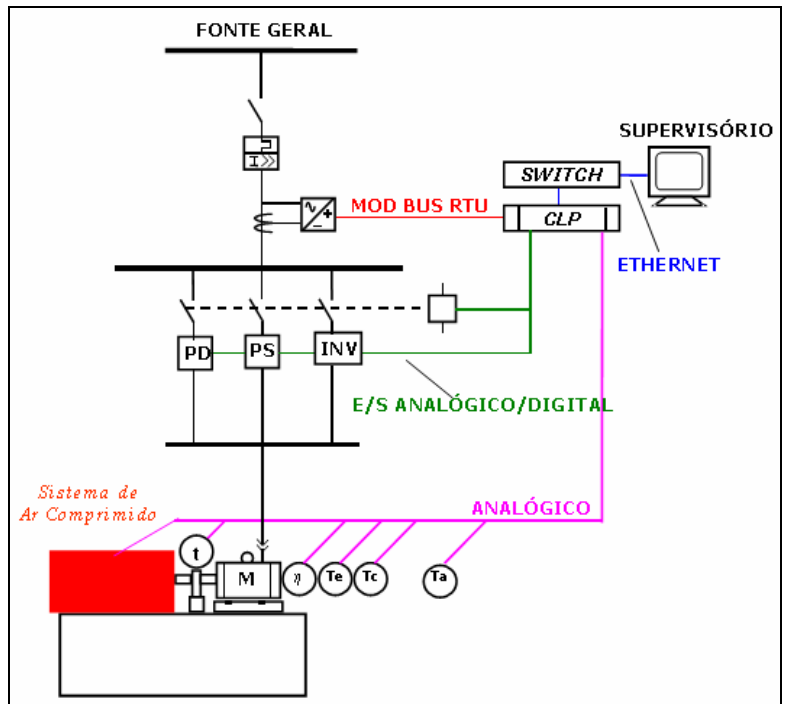


FIGURA 5a – Bancada de Ar Comprimido

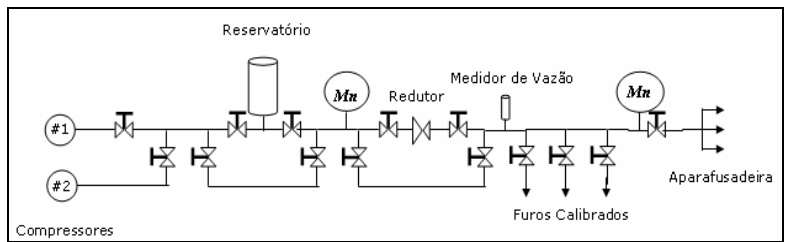


FIGURA 5b – Sistema de Ar Comprimido

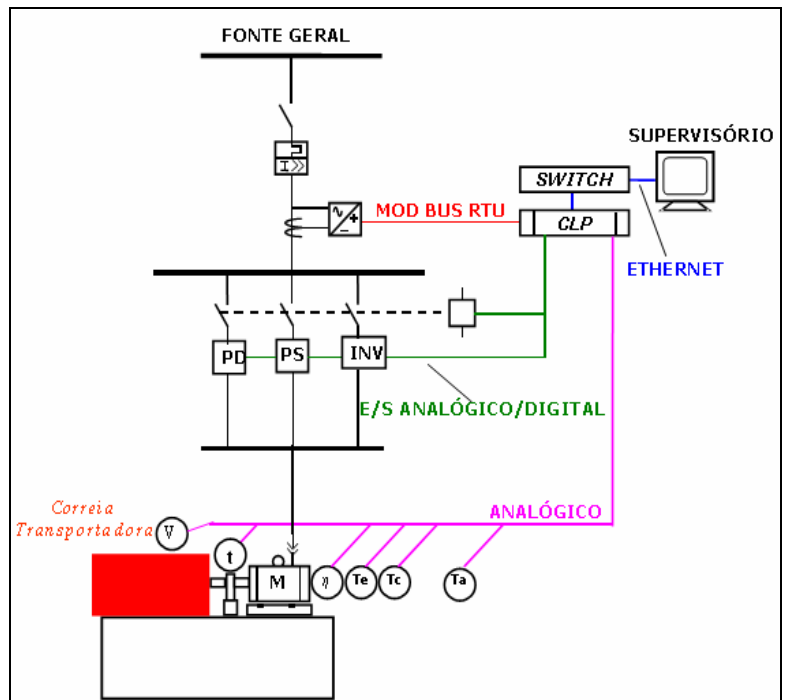


FIGURA 6 – Bancada de Correia Transportadora

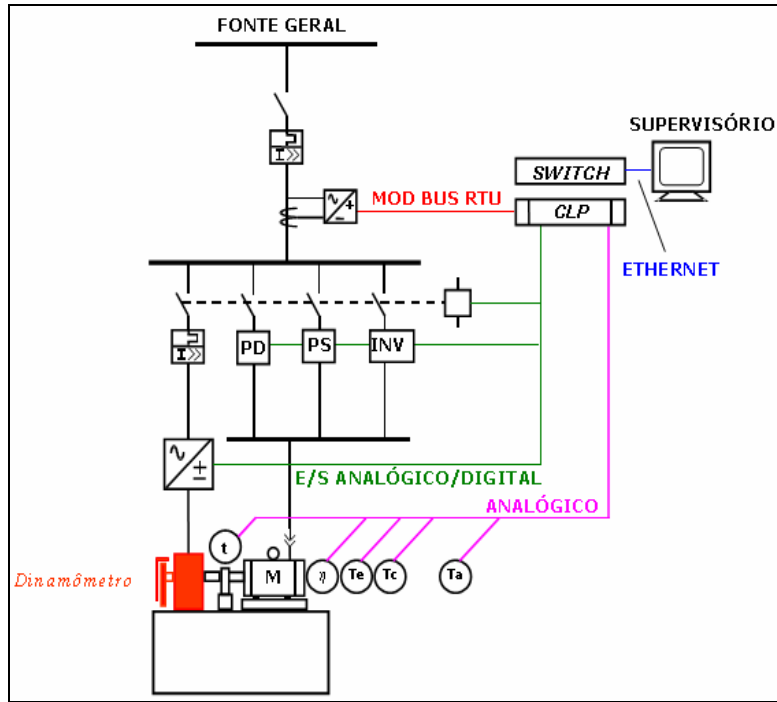


FIGURA 7 – Bancada de Dinamômetro

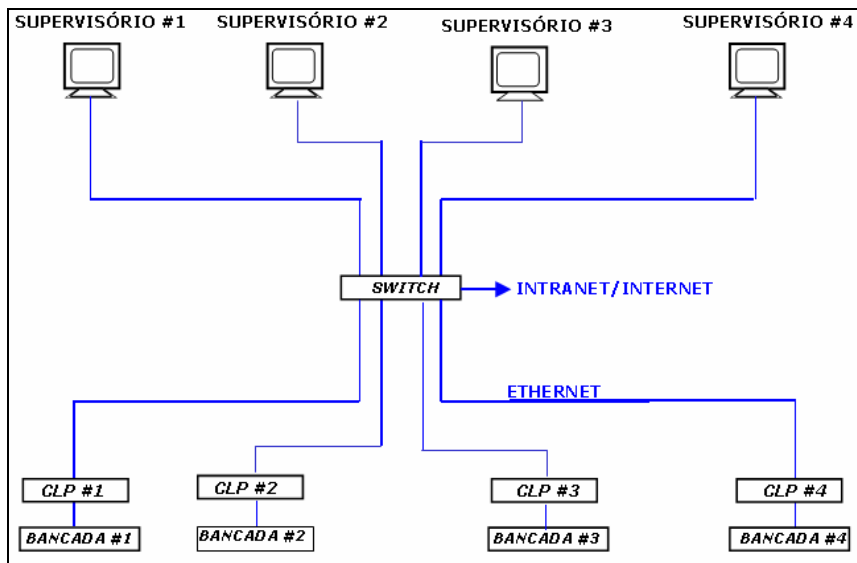


FIGURA 8 – Interligação da Rede Local com Intranet / Internet

TABELA 1 – Abreviaturas Utilizadas nos Diagramas

Abreviatura	Significado	Abreviatura	Significado
INV	Inversor de Frequência	PS	Partida Suave
PD	Partida Direta	t	Transdutor de Torque
Vz	Transdutor de Vazão	Ta	Temperatura Ambiente
M	Motor	Te	Temperatura do

			Enrolamento
Mn	Manômetro	Tf	Temperatura da Carcaça
P	Transdutor de Pressão	$\eta$	Rotação
CLP	Controlador Lógico Programável	%	Válvula Proporcional
V	Transdutor de Velocidade		

### 2.3. RESULTADOS

Atualmente, há laboratórios montados ou em fase de de aquisição de equipamentos em 13 (treze) universidade públicas, contemplando todas as regiões do país. Além da capacitação laboratorial, nestes convênios estão previstas bolsas de graduação, mestrado e doutorado, sendo que os trabalhos realizados devem focar sistemas motrizes industriais. A Tabela 2 apresenta as universidades até o momento contempladas, os respectivos estados e o número de bolsas disponibilizadas pela **ELETROBRÁS**.

TABELA 2 – Resultados (Janeiro de 2008)

Universidade	Estado	Bolsas	Graduação	Mestrado	Doutorado
UFAM (*)	Amazonas	10	7	3	-
UFPA (*)	Pará	9	5	2	2
UFC (*)	Ceará	11	7	4	-
UFPE (*)	Pernambuco	3	1	2	-
UFBA (*)	Bahia	4	3	1	-
UFMT (*)	Mato Grosso	9	9	-	-
UNESP	São Paulo	4	2	2	-
CEFET-MT	Mato Grosso	7	7	-	-
UFMS	Mato Grosso do Sul	11	7	3	1
UFU	Minas Gerais	9	7	2	-
UFSJ	Minas Gerais	3	3	-	-
UDESC	Santa Catarina	4	3	1	-
UCS	Rio Grande do Sul	10	9	1	-
UFJF	Minas Gerais	8	8	-	-
TOTAL		102	78	21	3

(\*) Laboratório montado e em operação

As Figuras 9, 10, 11, 12 e 13 apresentam bancadas de ensaio já montadas e em operação. Observando essas figuras podem ser notadas algumas diferenças em relação à concepção básica apresentada na seção 2.2. Por exemplo, a bancada de bombas da Universidade Federal da Bahia apresenta bombas em paralelo. Da mesma forma, a bancada de correia transportadora da Universidade Federal do Ceará apresenta uma concepção mais sofisticada.



FIGURA 9 – Bancada de Bombas / UFBA



FIGURA 12 – Bancada de Correia Transportadora / UFC



FIGURA 13 – Bancada de Dinamômetro / UFPA



### 3. CONCLUSÕES

Com os laboratórios de otimização de sistemas motrizes, a **ELETROBRÁS** inicia a eliminação da lacuna existente em relação ao ensino de sistemas motrizes nas universidades, através da sinergia das engenharias, uma vez que os laboratórios se tornam pontos focais para realização de estudos e trabalhos técnicos. Dessa forma, os futuros engenheiros estarão mais aptos a realizar diagnósticos energéticos que abordem todos os elementos de um sistema motriz e não somente o motor elétrico ou a carga mecânica isoladamente.

Os laboratórios são também utilizados pelas federações de indústria, tanto no treinamento de multiplicadores e agentes, como no assessoramento às indústrias. Sendo assim a **ELETROBRÁS** aproxima a academia ao meio empresarial e industrial, o que é importante tanto para a auto-sustentabilidade do laboratório, como para diminuição de custos e aumento da competitividade das indústrias brasileiras.

Para os estudantes, os laboratórios proporcionam, ainda, contato com o que há de mais atual em termos de automação, controle e tecnologias que vem sendo utilizado pelas indústrias modernas. Esta é uma vertente extremamente nobre do laboratório, uma vez que muitos laboratórios de universidades brasileiras estão antiquados, principalmente os do interior do país.

Também é importante mencionar a importância das bolsas de graduação, mestrado e doutorado, para pesquisas em sistemas motrizes industriais. Estes trabalhos contribuem com a pesquisa em andamento nesta área, ao mesmo tempo em que difundem e contribuem para a perenização desse novo enfoque dado à eficiência energética industrial, focada em sistemas motrizes.

### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Boletim Mensal de Energia Elétrica / Janeiro de 2007, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Rio de Janeiro, 2007.

Balanço de Energia Útil / 1995, Ministério de Minas e Energia / Secretaria de Energia, Brasília, DF, 1995

SANTOS, VANDA *et alii*, Otimização de Sistemas Motrizes Industriais, XVIII Seminário nacional de Produção e Transmissão de Eletricidade – SNPTEE, Curitiba – Paraná, Brazil, 2005.