

# ESPECIFICAÇÃO DE UM LABORATÓRIO DE PESQUISA E ENSINO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA AMBIENTES INDUSTRIAIS

Sérgio Ferreira de Paula Silva, Antonio Carlos Delaiba, Décio Bispo  
Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia – UFU  
Avenida João Naves de Ávila, 2121 – Campus Santa Mônica, CEP- 38400-902 – Uberlândia – MG  
Brasil  
e-mail: sergio@qes.com.br, delaiba@ufu.br, deciobispo@yahoo.com.br

**Resumo** - Este artigo tem por objetivo a idealização e especificação de um laboratório de pesquisa e estudo das metodologias e técnicas de melhoria da eficiência energética em instalações industriais. Este laboratório é composto por quatro estações de trabalho, englobando as cargas mecânicas de maior presença na indústria, quais sejam: bomba centrífuga, compressor, ventilador e correia transportadora. Cada uma destas cargas constitui uma bancada independente, contendo um sistema de acionamento composto por dois motores (padrão ou alto-rendimento) e três modos de partida (direta, inversor de frequência e partida-suave) que acoplados à carga, permitem o ensaio de diferentes condições operacionais, possibilitando a análise do desempenho elétrico, mecânico, térmico e hidráulico. Adicionalmente, aspectos relacionados à qualidade da energia também podem ser considerados e ponderados de acordo com as diferentes tecnologias de controle empregadas.

**Palavras-Chave** – eficiência energética, especificação, laboratório de pesquisa, qualidade da energia, sistemas motrizes.

## SPECIFICATION OF A LABORATORY FOR EDUCATION AND RESEARCH OF ENERGETIC EFFICIENCY AT INDUSTRIAL ENVIRONMENTS

**Abstract** – The objective of this paper is the specification of a laboratory focused on education and research of energetic efficiency at industrial environments. This laboratory is composed by four working stations involving the major mechanical loads founded at industries, which are: centrifugal pumps, compressors, fans and conveyor's belt. Each one of these loads is an independent bench, containing a system composed of two motors (standard or high-efficiency) and three ways of start (direct, variable frequency drives and soft start) which coupled to the load, let the testing of different operating conditions, allowing analysis of the electrical, mechanical, thermal and hydraulic performance. Moreover, issues related to the quality of power are also considered and weighted according to the different employed control technologies.

---

Artigo submetido em 13 de maio de 2008; primeira revisão em 26 de agosto de 2008; segunda revisão em 12 de novembro de 2008. Recomendado para publicação pelos Editores da Seção Especial, João Carlos dos Santos Fagundes e Felix Alberto Farret.

**Keywords** – energetic efficiency, power quality, research laboratory, rotating machines, specification.

## I. INTRODUÇÃO

A crise de abastecimento que assolou o país no ano de 2001 volta, em 2008, a assombrar o governo e os setores industriais e de transporte. Não obstante a este fato, o meio ambiente e as fontes de energia estão fortemente relacionados. O constante aumento no uso de recursos naturais, transformados por meio dos processos de produção em bens úteis à satisfação de necessidades humanas, tem sido um desafio no sentido de evitar o desperdício e melhorar a qualidade de vida do ser humano [1]. Portanto, a energia elétrica é um insumo valioso e, como tal, deve ser usada de maneira racional.

O uso eficiente de energia, que pode ser entendida como a utilização da menor quantidade possível de energia para realizar um trabalho sem que se perca qualidade e segurança na realização, tem como campo de atuação os mais diversos ramos de atividade da sociedade. Utilizar a energia com responsabilidade, sem desperdício, constitui um novo parâmetro a ser considerado no exercício da cidadania.

Se for mantida a estrutura atual de uso da energia, projeta-se uma necessidade de suprimento, em 2015, em torno de 780 TWh/ano, segundo dados da Eletrobrás. Estima-se, também, que diminuindo os desperdícios, haverá uma redução anual de até 130 TWh - produção aproximada de duas usinas de Itaipu [2].

No setor industrial, o maior potencial para a redução de consumo está nos sistemas motrizes, pois são responsáveis por cerca de 50% do total da energia elétrica consumida. Os 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). A troca de motores por unidades mais eficientes, a utilização de controladores de velocidade, o uso de acoplamentos adequados, entre outras iniciativas, constituem-se ações de combate ao desperdício de energia indispensáveis para a indústria competitiva.

Em complemento ao uso eficiente da energia, a qualidade desta mesma energia também é fundamental na redução dos custos e desperdícios tanto em setores industriais como também no comércio e nas residências.

Dentro deste contexto, a Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Minas Gerais, em parceria com Eletrobrás/Procel, idealizou um laboratório que permite o

estudo da eficiência energética nas principais cargas motrizes utilizadas no setor industrial. Com ampla atuação nas áreas da qualidade da energia e de máquinas elétricas, essa universidade reconheceu a necessidade de, também, avançar no campo da utilização da energia elétrica de forma racional e com qualidade. Os detalhes desse laboratório são apresentados na seqüência deste trabalho.

## II. DESCRIÇÃO GERAL DO LABORATÓRIO

O laboratório de eficiência energética é composto por quatro estações de trabalho, sendo que cada uma corresponde a um diferente tipo de carga comumente utilizado em processos industriais. As cargas correspondentes às bombas centrífugas, compressores, ventiladores e correias transportadoras, formam as bancadas mencionadas.

Cada uma das cargas foi instalada em uma bancada de ensaios independente das demais, formando um sistema de acionamento completo, composto por proteção, medição e automação integrados, capaz de controlar a execução, a coleta de dados e a emissão de relatórios para as grandezas elétricas, mecânicas, hidráulicas e térmicas. O acionamento é composto por dois tipos de motores e três modos de partida distintos, permitindo a visualização de diversas formas de controle e operação de equipamentos industriais similares e de maior porte.

Através de um sistema supervisório, todas as ações são realizadas através de um microcomputador que pode estar localizado no próprio laboratório ou distante do mesmo. Desta forma, via internet é possível o controle total de cada estação de trabalho, além da verificação em tempo real dos resultados dos ensaios. Naturalmente, esta opção é controlada por um sistema de acesso protegido por senhas e configurado de acordo com as ações liberadas a cada usuário cadastrado.

Essencialmente, cada estação de trabalho é composta por uma bancada contendo os motores e o módulo de carga; um painel que acondiciona os sistemas de comando, medição e acionamento e uma mesa para o microcomputador e acessórios. Na seqüência são apresentadas as características/funcionalidades mínimas comuns a todas as estações:

- A mesa possui dimensões apropriadas para a instalação de um microcomputador (CPU, monitor, teclado, *no-break* e mouse) e um multifuncional. A localização desta mesa, próxima ao painel de controle, possibilita sua utilização para acomodação de instrumentos portáteis como: multímetros, osciloscópios, qualímetros, entre outros.
- Na segunda bancada foram instalados os motores (de alto rendimento e padrão) e o módulo de carga. Vale ressaltar, que o módulo de carga permite uma variação controlada via sistema supervisório, entre 0 e 120% da potência nominal do motor elétrico.
- No painel de acionamento e comando estão instalados o inversor de frequência, o *soft-starter*, o controlador lógico programável (CLP) e os elementos de acionamento e proteção como contatores e disjuntores. Adicionalmente, este painel também é responsável pela

medição dos parâmetros elétricos de entrada dos motores.

- A fixação dos motores na estrutura da bancada possibilita que os mesmos sejam trocados de posição, ou seja, a carga poderá ser acoplada tanto ao motor de alto rendimento quanto ao convencional. Esta troca é realizada através de um sistema de trilhos e não necessita de ferramentas para sua realização. Através de um sistema de micro-chaves, o sistema de supervisão identifica qual motor está acoplado à carga mecânica.
- O sistema de medição dos parâmetros elétricos, de entrada dos motores, é constituído por um multimedidor de grandezas elétricas, contemplando valores de tensão fase-fase e fase-neutro; corrente; potências ativa, reativa, aparente e fator de potência trifásico e monofásico; frequências e energia ativa e reativa. A comunicação deste instrumento com o elemento de controle (CLP) é realizada via ModBus, sendo que todos os parâmetros mencionados são mostrados e monitorados (histórico, curva no tempo, etc.) no supervisório em tela própria. O multimedidor possui, ainda, funções de oscilografia e medição de distorções harmônicas até a 50ª ordem de tensão e corrente, sendo que todos estes valores podem ser visualizados em tempo real ou armazenados.
- O tipo de acionamento dos motores (alto rendimento ou convencional) é selecionado através do sistema supervisório. Assim sendo, o usuário ao escolher o acionamento desejável (partida direta, partida suave ou inversor) faz com que o controlador programável acione os respectivos contatores, sendo que os demais sistemas ficam desconectados.
- Os transmissores de torque e rotação foram instalados de forma a evitar a locomoção dos mesmos quando da troca dos motores.
- Cada motor (convencional e de alto rendimento) possui sensores de temperatura do tipo PT100, instalados na carcaça e em cada enrolamento do estator, permitindo a monitoração deste parâmetro via supervisório. Também neste caso, um conjunto de contatores possibilita a locomoção dos motores sem que haja necessidade de reconexão dos sensores ao CLP.
- Sinais de tensão e corrente (valor de tensão correspondente) estão disponíveis tanto na entrada quando na saída dos acionamentos, permitindo sua verificação em osciloscópios.

### A. Sistema de controle e acionamento

A Figura 1 representa o esquema unifilar simplificado de comando considerando partida direta, inversor de frequência e partida suave. Contempla também as comunicações em rede via Ethernet (entre PC e o CLP) e Modbus (entre CLP e os dispositivos de partida e medição), juntamente com as entradas analógicas e digitais.

O acionamento via inversor de frequência e partida suave utiliza dois contatores cada (à jusante e à montante), intertravados, sendo acionados pelo CLP de acordo com a escolha do tipo de acionamento na tela do supervisório.

Os CLPs de cada estação de trabalho são conectados a um *switch* configurando uma rede de comunicação em padrão Ethernet.

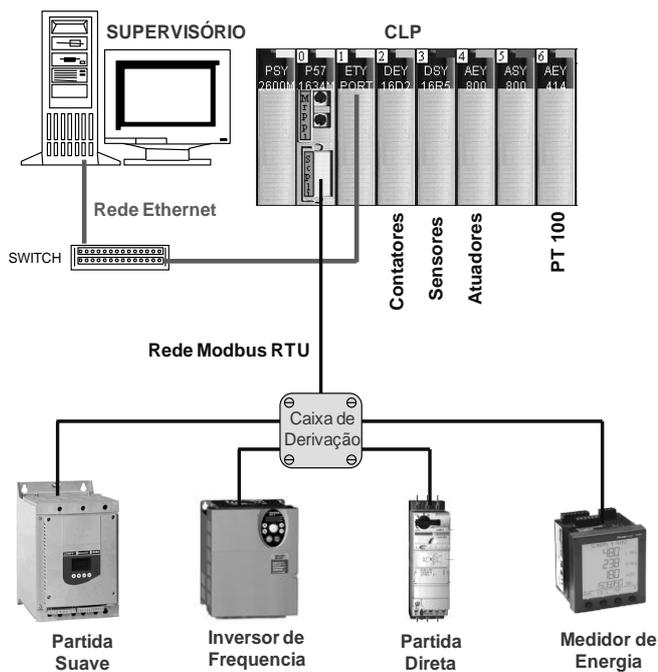


Fig. 1. Esquema unifilar do sistema de comando.

A seguir estão explicitados os elementos constituintes do sistema de acionamento utilizado no laboratório de estudos e pesquisa em eficiência e qualidade da energia elétrica.

- Inversor de Frequência: trifásico; para motor de 1,5 cv; 220 V; 60 Hz; controle escalar e vetorial; comunicação via rede Modbus, cabos de comunicação, entrada para encoder; controle PID; entrada 0-10 V analógica para controle de velocidade.
- Dispositivo de partida suave (*Soft-Start*): trifásico; 220 V; para motor de 1,5 cv; comunicação via rede Modbus; cabos de comunicação; entradas e saídas digitais; módulo de economia de energia.
- Chave de partida direta: trifásica; 220 V; para motor de 1,5 cv; comunicação via rede Modbus.
- Controlador Programável: 16 entradas digitais + 16 saídas digitais + 8 entradas analógicas + 8 saídas analógicas; Placa Ethernet; Placa Modbus; fonte de alimentação; cabos de conexão e programação; software de programação e comunicação (programação em até 3 diferentes linguagens, incluindo o Ladder). Placa contendo entrada para 4 sensores de temperatura do tipo PT 100. Entrada de pulsos para o sinal de rotação e ângulo. Licença do software de configuração e comunicação.
- Motor elétrico: 1,5 cv; indução; trifásico; 220/380 V; 2 pólos; 60 Hz; IP 21; convencional (*standard*), com sensores do tipo PT 100 instalados nas bobinas do estator e na carcaça.
- Motor elétrico: 1,5 cv; indução; trifásico; 220/380 V; 2 pólos; 60 Hz; IP 21; alto rendimento, com sensores do tipo PT 100 instalados nas bobinas do estator e na carcaça.

### B. Sistema supervisorio

O sistema supervisorio utilizado no laboratório foi configurado para realizar o controle de todo o processo

apresentando uma capacidade de monitoramento em tempo real através da rede de dados Ethernet. Não obstante a estas características, a licença adquirida possibilita a visualização de todas as janelas e telas de comando e gráficos via Internet, permitindo o acesso simultâneo de até 10 usuários. Estas janelas, gráficos e conseqüentes programas internos de supervisão e controle constituem uma das principais contribuições deste trabalho.

Após a inserção do usuário e senha, a janela ilustrada pela Figura 2 é apresentada. Nesta tela o operador define qual estação de trabalho será utilizada nos ensaios. Deve-se salientar que, as bancadas são totalmente independentes, ou seja, todas podem ser utilizadas simultaneamente.

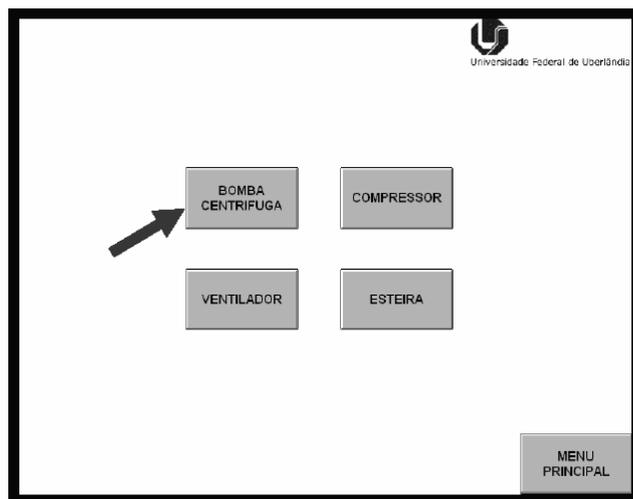


Fig. 2. Tela inicial do sistema supervisorio.

Para cada estação de trabalho foi desenvolvida uma tela principal nos moldes do desenho esquemático representado pela Figura 3. Desta forma, cada elemento constituinte da bancada (multimedidor, acionamento, carga, etc.) contém um atalho para abertura das telas de monitoração, ou seja: comando, temperatura, gráficos, medições e banco de dados. A Figura 3 também fornece informações específicas de cada bancada como, por exemplo, torque, velocidade, pressão, vazão e nível para a estação de trabalho da bomba centrífuga.

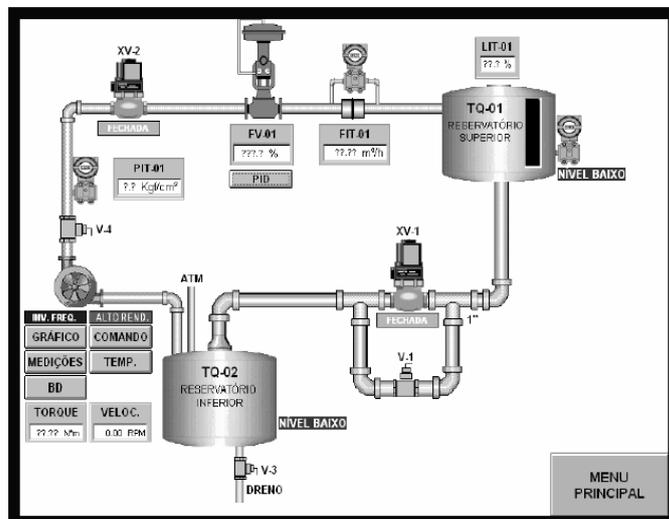


Fig. 3. Tela específica da estação de trabalho da bomba centrífuga.

Além das informações apresentadas diretamente na tela (medições), o sistema também oferece dados numéricos via banco de dados. Complementando ainda, é possível a construção de gráficos de parâmetros do sistema em função do tempo.

Na Figura 4 está representada a janela de comandos. Nela tem-se acesso aos sistemas de partida direta, suave e por inversor de frequência. Além de possibilitar a escolha do tipo de acionamento, esta tela fornece os parâmetros de configuração exigidos por cada equipamento. Desta forma, o tempo de rampa de subida e descida, a velocidade e demais parâmetros referentes às características operacionais das máquinas são configurados nesta tela.



Fig. 4. Tela de escolha e parametrização do tipo de acionamento.

### C. Estações de trabalho

Em adição ao detalhamento presente no tópico anterior, cada estação de trabalho possui diferentes cargas, com sensoriamento e peculiaridades distintas. Assim sendo, faz-se necessário uma complementação tanto ao nível de equipamentos/instrumentos quanto às funcionalidades inerentes a cada processo analisado. Desta forma, na seqüência são apresentadas estas características típicas de cada bancada.

#### 1) Bomba centrífuga

As características/funcionalidades mínimas específicas para esta estação de trabalho são:

- Além da bomba centrífuga, esta bancada é composta por um dinamômetro que pode ser instalado tanto no motor de alto rendimento quanto no motor convencional;
- O acoplamento entre motor e bomba e motor e dinamômetro é o direto.
- O dinamômetro também é controlado pelo supervisor. Desta forma, novamente em tela própria, o usuário pode determinar a carga desejável em valores percentuais da potência nominal do motor (1,5 cv), sendo que esta variação deve ser de 0 a 120%.
- O módulo de carga é composto de dois reservatórios com capacidade de 100 litros cada, de material transparente, sendo que o primeiro foi instalado na parte inferior da bancada e o segundo a uma altura de 2 metros. Entre os reservatórios foi instalado um duto de escoamento com uma válvula elétrica de retenção. Na saída da bomba centrífuga estão presentes uma válvula de retenção, uma válvula elétrica proporcional de estrangulamento e os transmissores analógicos de pressão e vazão. No reservatório superior instalou-se um transmissor de nível. Todos os sensores mencionados

têm seus indicativos monitorados (histórico, curvas e valores instantâneos) e mostrados no supervisor da bancada. A válvula elétrica proporcional permite o controle de sua abertura através do supervisor, permitindo um controle preciso da vazão da bomba, simulando, portanto, o controle de vazão em sistemas industriais através das conhecidas válvulas de estrangulamento.

O diagrama orientativo mostrado pela Figura 5 permite uma melhor visualização das características desejadas. Vale ressaltar que o diagrama abaixo não apresenta todos os instrumentos utilizados.

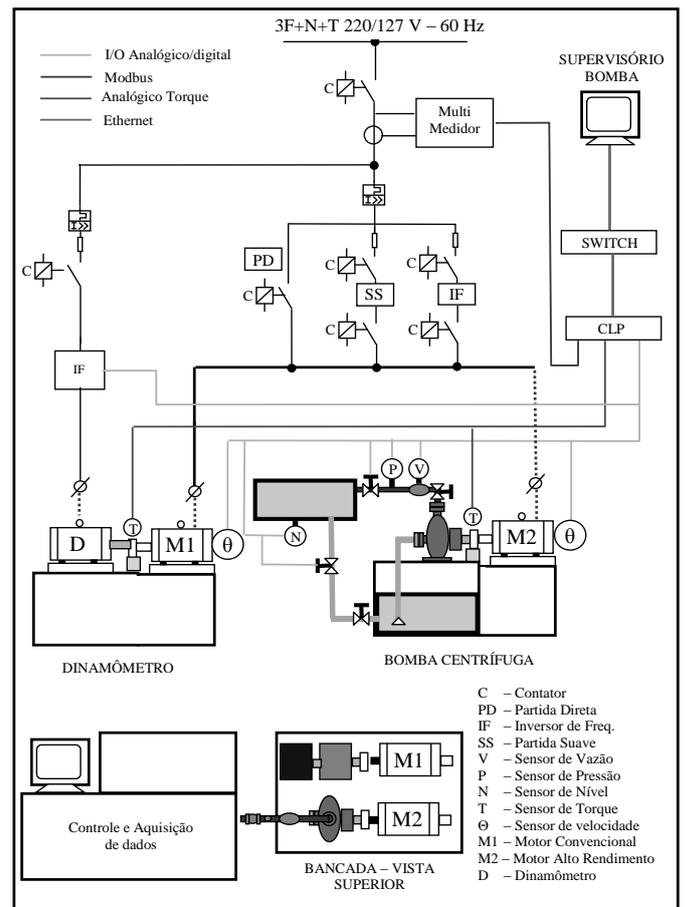


Fig. 5. Diagrama orientativo da bancada da bomba centrífuga.

Adicionalmente, apresenta-se a seguir os elementos específicos para a bancada da bomba centrífuga:

- Dinamômetro: CA, 2 cv, 220 V, com controle da carga via supervisor através de sinais 4-20 mA;
- Bomba centrífuga: compatível com motor de 1,5 cv, vazão mínima de 1 m<sup>3</sup>/h;
- Transmissor de torque: 0-10 N.m: saída -10 a 10 V; classe de precisão 0,2.

#### 2) Ventilador

O módulo de carga da bancada do ventilador é composto por um sistema de controle da vazão de ar, conhecido industrialmente como damper, cuja abertura e fechamento são definidos pelo supervisor. Um transmissor de vazão de ar instalado na tubulação de exaustão do ventilador permite a verificação deste parâmetro e o controle, realizado pelo

damper, possibilitando diminuir, aumentar ou mesmo bloquear este fluxo, sendo todas estas ações visualizadas e acionadas via supervisório.

A Figura 6 ilustra de forma simplificada e orientativa o esquema de comando e comunicação desta estação de trabalho. Os elementos específicos presentes na bancada do ventilador são:

- Damper: comando elétrico, variação de 0 a 100%, com indicação da posição atual na tela do supervisório.
- Transmissor de vazão e velocidade do ar: saída 4 a 20 mA; linear; precisão < 0,5.

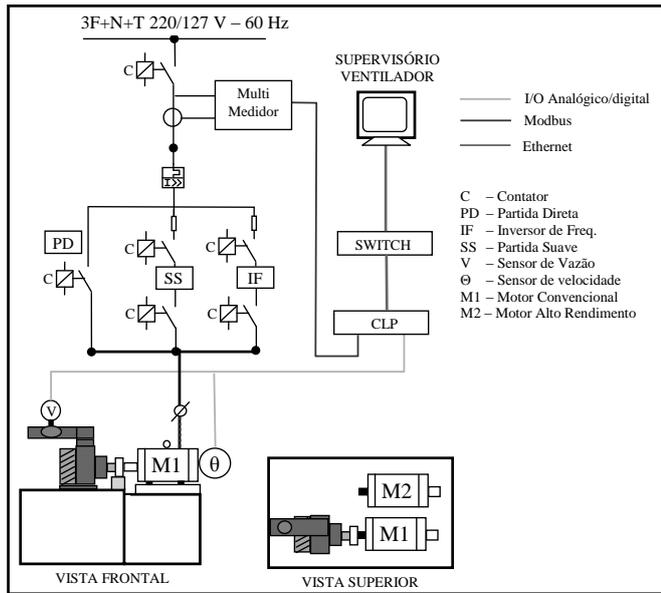


Fig. 6. Diagrama orientativo da bancada do ventilador.

### 3) Sistema de ar comprimido

A Figura 7 ilustra o esquema elétrico representativo desta bancada.

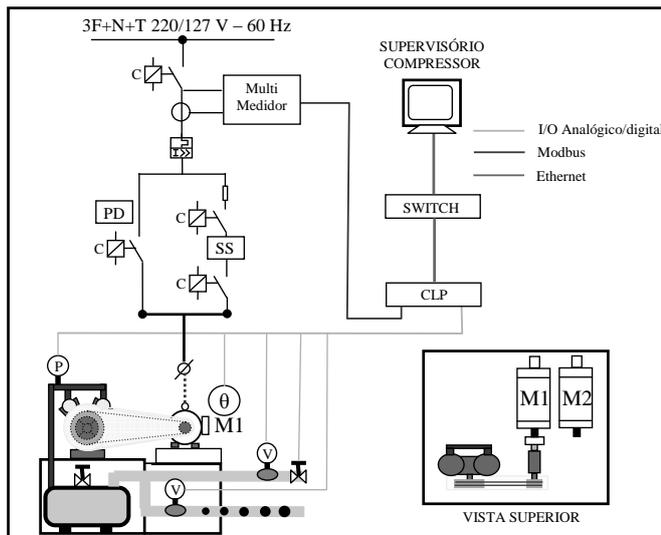


Fig. 7. Diagrama orientativo da bancada de ar comprimido.

Esta estação de trabalho utiliza um compressor com um reservatório de ar comprimido regulado por uma válvula elétrica de saída de ar (alívio de pressão), permitindo o

controle da pressão do reservatório via supervisório. A tubulação permite a simulação de perda de carga através de furos de diferentes diâmetros (5 furos). A localização destes furos possibilita a simulação e medição de diferentes perdas de carga e a conseqüente verificação do impacto destas no funcionamento do compressor.

Esta estação de trabalho utiliza um compressor de ar a pistão acionado por um motor de 1,5 cv. Sensores de vazão e pressão estão instalados na tubulação de carga. Através de uma válvula elétrica proporcional, a saída de ar é controlada de forma a variar o carregamento do motor em até 120% de sua potência nominal. Deve-se salientar que neste caso, o acoplamento mecânico é constituído por polias.

Vale ressaltar que nesta estação de trabalho somente foram utilizados os acionamentos direto e por *soft-starter*. Esta escolha é justificada pela característica de torque constante versus velocidade do compressor a pistão, inviabilizando a utilização do inversor de frequência.

### 4) Correia transportadora

Finalmente, a Figura 8 ilustra a estação de trabalho da correia transportadora.

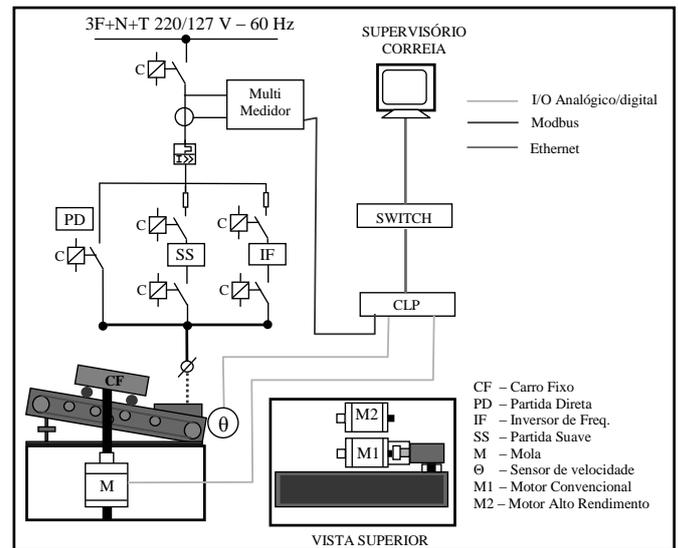


Fig. 8. Diagrama orientativo da bancada da correia transportadora.

O módulo de carga é composto por uma correia transportadora com possibilidade de ajuste de angulação para até 30 graus. Um sistema pneumático de controle da tensão sobre uma mola aplica uma pressão sobre um carro instalado sobre a esteira. Este carro possui roldanas de deslocamento em um único sentido, simulando assim condições de carregamento diversas. Também neste caso, a pressão sobre o carrinho é controlada através do sistema supervisório.

### D. Fonte de tensão

O suprimento de energia a cada uma das estações de trabalho é de suma importância aos estudos e pesquisas de eficiência energética. A utilização de uma fonte de tensão não adequada aos estudos pode conduzir a valores imprecisos quanto à potencialidade das técnicas de redução e otimização do consumo de energia utilizadas nas análises de eficiência energética. Diante desta particularidade, a utilização de uma

fonte de tensão controlada e conhecida contribui de forma contundente no sucesso do laboratório.

Assim, para que os propósitos sejam atingidos com critérios, consistência, precisão e clareza dos resultados, todas as estações de trabalho são passíveis de alimentação através de uma fonte de tensão programável modelo HP6834A de potência nominal trifásica de 4,5 kVA. Esta fonte permite a configuração de formas de ondas a critério do usuário, fornecendo a base para estudos e avaliações relativas à qualidade da energia elétrica.

### III. ENSAIOS E ESTUDOS

As características dos módulos de carga, dos sistemas de medição e supervisão e dos sensores empregados neste laboratório possibilitam numerosos ensaios e estudos de eficiência energética e qualidade da energia elétrica. Na seqüência são citados alguns destes levantamentos/estudos:

#### A. Eficiência energética

- Levantamento das curvas características das cargas (ex: pressão em função da vazão);
- Levantamento das curvas características dos motores (convencional e alto rendimento) - conjugado no eixo em função de sua rotação;
- Análise do comportamento térmico dos motores em função da carga mecânica acoplada em seu eixo;
- Avaliação do consumo dos motores para variações de carga entre 0 a 120%;
- Estudo da eficiência energética dos motores em função da variação da vazão da bomba (estrangulamento da válvula);
- Estudo da eficiência energética pela alteração da vazão de ar (abertura do damper) no ventilador;
- Estudo da eficiência energética através da mudança da pressão do reservatório de ar do compressor;
- Estudo da eficiência energética de acordo com a modificação de carga e ângulo na correia transportadora;
- Verificação da eficácia de utilização de inversores de frequência em função da variação de velocidade do conjunto motor-carga;
- Comparação entre as grandezas elétricas, mecânicas, térmicas e hidráulicas considerando as partidas direta, suave (*soft-starter*) e inversor de frequência;
- Levantamento das características elétricas, mecânicas e térmicas monitoradas em função do tempo de funcionamento do conjunto motor-carga;
- Análise da eficiência energética considerando diferentes ajustes no acoplamento entre o motor e a carga;
- Estudos e pesquisas dos efeitos dos itens de qualidade do suprimento elétrico (distorções harmônicas, desequilíbrios, variações de tensão e frequência, transitórios, etc.) em todas as estações de trabalho, à luz da eficiência energética.

#### B. Qualidade da energia elétrica

- Impacto da utilização de inversores de frequência e *soft-starter* na forma de onda da tensão de alimentação;
- Verificação de ocorrência de condições de ressonância harmônica;

- Efeito da compensação de reativos de motores acionados por dispositivos não-lineares;
- Estudos de aplicação e eficácia de filtros harmônicos passivos e ativos;
- Comportamento dos motores de alto rendimento e convencional quando alimentados por tensões desequilibradas;
- Desempenho do conjunto motor-carga para alimentações contendo flutuações de tensão (flicker);
- Conseqüências das variações de tensão de curta duração no motor, carga e sistema de automação;
- Suportabilidade a afundamentos da tensão e interrupções de curta duração;
- Análise das variações da rotação em função de variações da frequência de alimentação.

### IV. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Como exemplo de aplicação, foram feitos ensaios na estação de trabalho da bomba centrífuga para cinco valores diferentes de vazão. Para obtenção destas vazões, usou-se apenas o método de estrangulamento de válvula e posteriormente foram coletados os valores indicados nas Tabelas I e II [3]. O objetivo deste exemplo é avaliar o consumo de energia elétrica, apenas pela comparação entre o emprego do motor da linha padrão e de alto-rendimento.

**TABELA I**

**Parâmetros para o motor da linha padrão.**

Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Rotação (rpm)	Corrente (A)	Tensão (V)	Potência (W)
1,0	3500	4,30	220,70	1011
1,5	3480	4,40	219,70	1059
2,0	3410	4,60	219,90	1136
2,5	3470	4,90	219,30	1154
3,0	3500	5,30	220,30	1248

**TABELA II**

**Parâmetros para o motor de alto rendimento.**

Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Rotação (rpm)	Corrente (A)	Tensão (V)	Potência (W)
1,0	3416	3,70	221,23	856
1,5	3460	3,90	221,20	900
2,0	3417	4,00	221,23	946
2,5	3460	4,20	221,10	983
3,0	3450	4,40	221,20	1028

Conforme esperado, a coluna de potências ativas evidencia a economia proporcionada pela utilização do motor de alto rendimento.

A Tabela III indica que para um ano de utilização o estudo aponta para uma economia média de 15%. De acordo com os resultados obtidos a redução no consumo é significativa e justifica a substituição dos motores convencionais pelos de alto rendimento. Em complemento a este exemplo, a Figura 9 ilustra o comportamento do consumo de energia elétrica para o motor de alto rendimento quando a vazão é controlada através da variação de velocidade do motor (inversor de frequência) em detrimento da válvula de estrangulamento [3]. Neste caso, para a bomba centrífuga operando com uma vazão de 2,0 m<sup>3</sup>/h, observa-se uma economia superior a 60%.

TABELA III

Comparação de consumo entre o motor da linha padrão (LP) e o de alto rendimento (AR).

Motor	Vazão (m³/h)	Horas/Ano	Potência (W)	Energia (kWh)	Econ. (%)
AR LP	1,0	8640	856	7395,84	15,33
AR LP	1,5	8640	900	7776,00	15,01
AR LP	2,0	8640	946	8173,44	16,73
AR LP	2,5	8640	983	8493,12	14,82
AR LP	3,0	8640	1028	8881,92	17,63

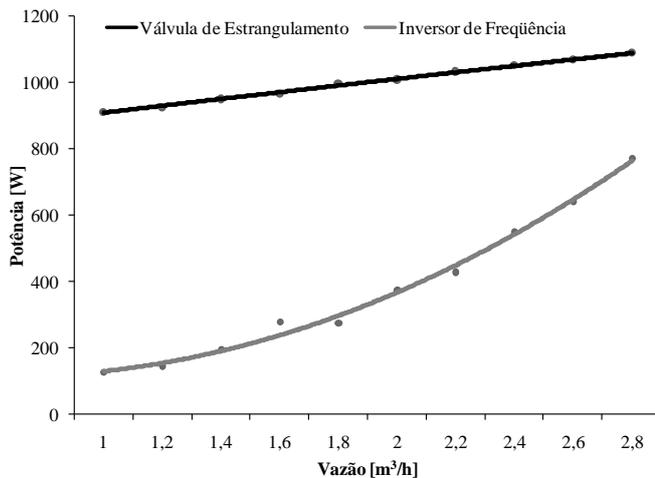


Fig. 9. Potência versus vazão para o motor de alto rendimento.

### V. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou a especificação e as metas a serem alcançadas com a implantação do laboratório de ensino e pesquisa nos temas de eficiência energética industrial e qualidade da energia elétrica. O laboratório está apto à simulação de diversas condições operativas de cargas como bombas centrífugas, compressores, ventiladores e correias transportadoras demonstrando os fenômenos eletromecânicos pertinentes a estes sistemas.

Este laboratório traz a possibilidade de se fazer um estudo integrado de sistemas elétrico, mecânico, térmico e hidráulico sob o enfoque da eficiência energética, considerando também as influências de um suprimento elétrico não ideal.

Cabe ressaltar que, o laboratório está totalmente concluído e em utilização nos cursos de graduação e pós-graduação da Faculdade de Engenharia Elétrica (FEELT) da Universidade Federal de Uberlândia. Deste projeto resultaram duas dissertações de mestrado e sete trabalhos de conclusão de curso.

### AGRADECIMENTOS

Este projeto foi efetivado através de convênio firmado entre a FEELT da Universidade Federal de Uberlândia e a ELETROBRÁS/PROCEL, tendo sido comissionado e aprovado pelo órgão supramencionado.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D.G. Júnior, "Reestruturação do setor elétrico brasileiro estratégia de retomada da taxa de acumulação do capital?", Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo, 2002
- [2] Eletrobrás, *Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica (Procel)*. Acesso em 15 de Julho de 2007 em <http://www.eletrobras.com.br/elb/procel>.
- [3] R.Guimarães, "Comportamento elétrico, mecânico e hidráulico em sistemas de bombeamento sob o enfoque da eficiência energética", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Janeiro 2008.
- [4] H.S.Geller, *Revolução energética: políticas para um futuro sustentável*, trad. M. V. Barbosa, Relume Dumará, Rio de Janeiro, 2003
- [5] J. Goldemberg, L.D. Villanueva, *Energia, meio ambiente e desenvolvimento*, trad. A. Koch, EDUSP, 2ª Edição, São Paulo, 2003

### DADOS BIOGRÁFICOS

**Sérgio Ferreira de Paula Silva**, nascido em 05/04/1973 em Ituiutaba-MG é engenheiro eletricitista (1996), mestre (2000) e doutor em Engenharia Elétrica (2007) pela Universidade Federal de Uberlândia.

Foi diretor de engenharia da empresa Quality Engenharia e Sistemas Ltda, de 2000 a 2008 e atualmente é professor adjunto na Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia. Suas áreas de interesse são: qualidade da energia, distorções harmônicas, filtros e eficiência energética.

**Antônio Carlos Delaiba**, nascido em 04/08/1954 em Botucatu-SP é engenheiro eletricitista (1979), mestre (1987) e doutor em Engenharia Elétrica (1997) pela Universidade de São Paulo – USP. Curso de especialização em eficiência energética pelo Procel/Eletrobrás/Fiemg em 2004.

Foi professor da Faculdade de Engenharia Elétrica da Fundação Educacional de Barretos, de 1980 a 1986, professor da UNESP de Ilha Solteira-SP, de 1987 a 1989 e atualmente é professor associado 2 da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia. Suas áreas de interesse são: qualidade da energia elétrica, transformadores, instalações elétricas industriais e eficiência energética.

Dr. Delaiba durante o período de 1980 até 1988 foi instrutor de cursos profissionalizantes para Siemens e Klockner Moeller.

**Décio Bispo**, nascido em 18/11/1952 em São Vicente/SP é engenheiro eletricitista (1979), especialista Cese/Eletrobrás/Efei (1983), mestre (1985) e doutor em Engenharia Elétrica (2000) pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), curso de especialização em eficiência energética pelo Procel/Eletrobrás/Fiemg em 2004.

Atualmente é professor associado 2 da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia. Suas áreas de interesse são: instalações elétricas, máquinas elétricas, eficiência energética e manutenção em sistemas industriais.