

**SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL  
UNIDADE JARAGUÁ DO SUL**

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

**AUTOMAÇÃO DE BANCADA DIDÁTICA PARA REALIZAÇÃO  
DE ENSAIOS EM MOTORES DE INDUÇÃO**

**CARLOS HENRIQUE VIEIRA**

**Trabalho de Conclusão de Curso**

**JARAGUÁ DO SUL – SC  
2011**

**CARLOS HENRIQUE VIEIRA**

**AUTOMAÇÃO DE BANCADA DIDÁTICA PARA REALIZAÇÃO  
DE ENSAIOS EM MOTORES DE INDUÇÃO**

Projeto de pesquisa apresentado ao curso de pós-graduação em Automação Industrial do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – Unidade Jaraguá do Sul – como requisito parcial para conclusão do curso.

Professor Orientador: Adilson José Zipf

**JARAGUÁ DO SUL – SC**

**2011**

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Unidade:	<input type="checkbox"/> Jaraguá do Sul		
Curso:	<input type="checkbox"/> Pós-graduação em Automação Industrial	Ano:	<input type="checkbox"/> 2011
Professor Orientador:	<input type="checkbox"/> Adilson José Zipf		
Estudante:	<input type="checkbox"/> Carlos Henrique Vieira		
<b>TITULO DO TRABALHO:</b>	<input type="checkbox"/> Desenvolvimento de Bancada Didática		
<b>AVALIADORES:</b>	<input type="checkbox"/>		

Descrição	Avaliação
O ESTUDANTE regularmente matriculado no Curso <b>APRESENTOU</b> e ou <b>DEFENDEU</b> seu Trabalho de Conclusão de Curso.	
Assinatura:	Marcelo Pereira _____ (Coordenador de TCC)  Adilson José Zipf _____ (Professor Orientador)
<b>QUANDO PREVISTO BANCA EXAMINADORA</b>	
Assinatura:	 _____ (Membro A) (Nome da Instituição)  _____ (Membro B) (Nome da Instituição)
Data:	

Dedico esse trabalho a minha esposa  
Maria Luiza de Araújo Vieira que me  
apoiou e me incentivou durante o tempo  
em que estive ausente me capacitando...

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus que fornece a vida e tudo que precisamos para mantê-la. Agradeço também aos meus pais Eusébio Vieira Neto e Rosiris Vieira que me deram educação e me ensinaram que o estudo é a base para o desenvolvimento pessoal e profissional.

Agradeço a todos os meus amigos que direta e indiretamente me apoiaram e incentivaram no desenvolvimento deste trabalho, em especial o Sr. Thomas Eusébio Vieira, que dedicou algumas horas do seu tempo para junto iniciarmos a programação do software LabView, até então novidade para ambos e o Sr. Norival Maske que também dedicou algum tempo me auxiliando na instalação e utilização de vários módulos necessários para confecção deste projeto.

Não posso deixar de agradecer a meu professor orientador, Adilson José Zipf, que sempre se mostrou prestativo, embora eu não tenha recorrido muito a ele. A empresa WEG e meus gestores Paulo César Bortolotti e Marcio Heron Vogt que me incentivaram e até abriram mão da minha presença na empresa quando eventualmente tive que me ausentar para me capacitar ou recorrer a ajudas externas para elaboração deste trabalho.

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma ferramenta computacional elaborada em LabView para auxiliar na realização de ensaios de motores de indução trifásicos com rotor do tipo gaiola, para capacitação de jovens aprendizes. O programa desenvolvido automatiza a aquisição, o processamento e o armazenamento dos dados provenientes dos ensaios. O aprendiz será orientado por um guia virtual automatizado que, além de trazer informações sobre os procedimentos a serem realizados, também emite alertas e avisos relativos aos procedimentos e etapas dos ensaios. Os parâmetros preestabelecidos e as informações transmitidas pelo guia virtual são extraídas de uma metodologia de ensaios desenvolvida com base na NBR 5383-1:2002 (Máquinas elétricas girantes. Parte1: Motores de indução trifásicos – Ensaio).

Palavras-chave: LabView. Ensaio. Normas. Motores de indução trifásicos

## **ABSTRACT**

This work presents a computational tool developed in LabView which helps in testing of three phase induction motors with cage rotor, for the training of young apprentices. The developed program automates the acquisition, processing and storage of data from the tests. The learner will be guided by an automated virtual guide in addition to providing information on the procedures to be performed, also alerts and warnings relating to the procedures and stages of testing. The preset parameters and the information transmitted by the virtual guide is extracted from a test methodology developed based on NBR 5383-1:2002 (Electric Rotating Machines. Part 1: Three-phase Induction motors - Testing).

Keywords: LabView. Tests. Standards. Three-phase Induction Motors.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Motor de indução.....	12
Figura 2 Motor de indução trifásico em corte .....	13
Figura 3 Ligação estrela-triângulo $Y\Delta$ .....	14
Figura 4 Transdutor UPD600 .....	16
Figura 5 Sensor Indutivo .....	17
Figura 6 Sensor Capacitivo .....	18
Figura 7 Sensor Magnético .....	19
Figura 8 Sensor Óptico .....	19
Figura 9 Painel frontal e Diagramas de blocos no LabView.....	22
Figura 10 Painel frontal de um Instrumento Virtual feito no LabView.....	23
Figura 11 Dinamômetro: Disco de Foucault e Célula de Carga. ....	43
Figura 12 Disco dentado e sensor indutivo. ....	44
Figura 13 Fixação do motor.....	45
Figura 14 Mesa de Comando.....	45
Figura 15 Multimetro WEG MMW01 .....	46
Figura 16 Conversor ADAM-4520: RS232/RS485 .....	47
Figura 17 DAQ USB6008 .....	47
Figura 18 Visão geral do sistema de ensaio.....	48
Figura 19 VI_se: Sistema de Ensaio – Tela Inicial. ....	50
Figura 20 VI_se: Sistema de Ensaio – Dados de Entrada.....	50
Figura 21 VI_se: Sistema de Ensaio – Rotor Bloqueado.....	51
Figura 22 VI_se: Sistema de Ensaio – Elevação de Temperatura. ....	51
Figura 23 VI_se: Sistema de Ensaio – Ensaio em Carga.....	52
Figura 24 VI_se: Sistema de Ensaio – Conjugado Máximo.....	52
Figura 25 VI_se: Sistema de Ensaio – Ensaio a Vazio.....	53
Figura 26 SubVI para cálculo do CRC. ....	54
Figura 27 SubVI Configuração da porta serial.....	54
Figura 28 SubVI Write/Read.....	55
Figura 29 SubVI Conversão Binário/Decimal. ....	56
Figura 30 SubVI_m: Comunicação com Multimetro. ....	57
Figura 31 SubVI_t: Medição de Temperatura.....	58
Figura 32 SubVI_t: Medição de Rotação.....	59

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	10
<b>2</b>	<b>AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL</b> .....	<b>12</b>
2.1	REVISÃO DE LITERATURA.....	12
<b>2.1.1</b>	<b>Motores Elétricos</b> .....	<b>12</b>
2.1.1.1	Motor de indução trifásico.....	13
<b>2.1.2</b>	<b>Automação Industrial</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Transdutores</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1.4</b>	<b>Sensores</b> .....	<b>16</b>
2.1.4.1	Sensor de presença.....	17
2.1.4.1.1	Indutivo.....	17
2.1.4.1.2	Capacitivo.....	18
2.1.4.1.3	Magnético.....	18
2.1.4.1.4	Sensor Óptico.....	19
<b>2.1.5</b>	<b>Sistemas supervisórios (SCADA)</b> .....	<b>20</b>
2.1.5.1	O LabVIEW e a criação de instrumentos Virtuais.....	21
2.1.5.1.1	Componentes.....	21
2.1.5.1.2	Programação gráfica.....	22
2.1.5.1.3	Conectividade e controle dos instrumentos.....	23
2.1.5.1.4	Visualização.....	24
<b>2.1.6</b>	<b>Redes Industriais</b> .....	<b>24</b>
2.1.6.1	Padrões Seriais.....	25
2.1.6.1.1	RS232C.....	26
2.1.6.1.2	RS422.....	27
2.1.6.1.3	RS423.....	27
2.1.6.1.4	RS485.....	27
2.1.6.2	Protocolo MODBUS.....	28
2.1.6.2.1	Modelos de transmissão serial com MODBUS.....	29
<b>3</b>	<b>AUTOMAÇÃO DA BANCADA DE ENSAIOS DE MOTORES</b> .....	<b>31</b>
3.1	METODOLOGIA PARA ENSAIO.....	31
<b>3.1.1</b>	<b>Resistencia Elétrica a Frio</b> .....	<b>32</b>
3.1.1.1	Generalidades e requisitos para a realização do ensaio.....	33
3.1.1.2	Aparelhos necessários.....	33
3.1.1.3	Procedimento de ensaio.....	34
<b>3.1.2</b>	<b>Rotor Bloqueado</b> .....	<b>34</b>
3.1.2.1	Informações Complementares.....	35
3.1.2.2	Equipamentos.....	35
3.1.2.3	Procedimento.....	35
<b>3.1.3</b>	<b>Elevação de Temperatura</b> .....	<b>35</b>
3.1.3.1	Generalidades e requisitos para a realização do ensaio.....	36
3.1.3.2	Aparelhos necessários.....	36

3.1.3.3	Procedimento de ensaio .....	37
<b>3.1.4</b>	<b>Ensaio em carga .....</b>	<b>38</b>
3.1.4.1	Generalidades e requisitos para a realização do ensaio .....	38
3.1.4.2	Aparelhos necessários .....	39
3.1.4.3	Procedimento de ensaio .....	39
<b>3.1.5</b>	<b>Conjugado máximo .....</b>	<b>39</b>
3.1.5.1	Informações Complementares.....	40
3.1.5.2	Equipamentos.....	40
3.1.5.3	Procedimento .....	40
<b>3.1.6</b>	<b>Ensaio a Vazio.....</b>	<b>41</b>
3.1.6.1	Generalidades e requisitos para a realização do ensaio .....	41
3.1.6.2	Aparelhos necessários .....	42
3.1.6.3	Procedimento de ensaio.....	42
3.2	DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS.....	43
3.3	DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA.....	48
<b>3.3.1</b>	<b>A Estrutura .....</b>	<b>49</b>
3.3.1.1	VI_se: Sistema de Ensaio.....	49
3.3.1.2	SubVI_m: Comunicação com Multimedidor.....	53
3.3.1.3	SubVI_c: Comunicação com Indicador de Carga .....	57
3.3.1.4	SubVI_t: Medição das temperaturas .....	57
3.3.1.5	SubVI_r: Medição da rotação .....	59
3.4	RESULTADOS ALCANÇADOS.....	59
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>61</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>62</b>
	<b>ANEXO A – TABELA 25 (NBR 17094) .....</b>	<b>64</b>
	<b>ANEXO B – TABELA 26 (NBR 17094) .....</b>	<b>66</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia e a adoção desta pela sociedade, geralmente, inserem mudanças no relacionamento do homem com os meios de produção, através da substituição ou evolução dos processos produtivos. A automação desses processos pode gerar essa mudança, que ocorre em função da utilização de várias novas tecnologias, que eleva a eficiência e a rapidez dos processos, ampliando a capacidade produtiva das indústrias e permitindo um controle de qualidade superior.

Os atuais equipamentos digitais de medidas de grandezas elétricas e mecânicas não possuem somente maior precisão do que seus antecessores analógicos, mas também apresentam interfaces de comunicação, que possibilitam a transmissão de dados correspondentes as leituras efetuadas, para microcomputadores, sem a necessidade de intervenção humana, incentivando a criação de instrumentos virtuais.

A instrumentação virtual trata da adoção de equipamentos de medidas capazes de enviar dados de leituras para um microcomputador. Através de um programa desenvolvido com essa finalidade, uma interface gráfica permite o acesso aos dados no microcomputador pelo operador. Este sistema permite uma flexibilidade inexistente em equipamentos de medidas digitais, pois o programa desenvolvido para o microcomputador pode ser alterado e adaptado a novas necessidades.

Com a criação de ferramentas virtuais próprias, uma nova vantagem surge no que tange o processamento de dados, que é conhecer completamente os procedimentos que lidam com os dados de leituras. Desta maneira os erros detectados podem ser imediatamente corrigidos e quaisquer mudanças necessárias podem ser aplicadas.

No meio industrial a garantia dos resultados é determinada através de regras para a execução de testes e a aquisição de dados, regras estas, que devem ser

abrangentes e acessíveis. A NBR 5383-1:2002 vem atender a essas necessidades ao proporcionar um conjunto de regras para a condução dos ensaios de motores de indução trifásicos e os parâmetros de aquisição de dados.

Logo, a criação de uma metodologia de ensaios de motores de indução trifásicos que atenda as prescrições da NBR 5383-1:2002, atende as necessidades de aprendizagem e ainda oferece um conjunto de procedimentos padronizados conforme exigência da indústria.

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema virtual de aquisição e processamento de dados, para aumentar a eficiência dos procedimentos de ensaio de motores de indução trifásicos e melhorar a conservação, organização e recuperação de dados.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Nota-se no dia-a-dia de treinamento dos aprendizes a dificuldade em assimilar conhecimento técnico com estudo puramente teórico, dessa forma, o professor como mediador do conhecimento no processo de ensino-aprendizagem precisa criar constantemente meios de facilitar este processo.

A utilização de bancadas didáticas que possibilitam simular situações reais para realização de estudos de casos auxilia o aluno a fixar o conhecimento, pois ele mesmo visualiza e manuseia o equipamento.

Durante o estudo do motor de indução, o aluno se depara com muitas informações até então desconhecidas como o rendimento que é a relação entre a potência de saída e de entrada da máquina. A diferença entre estas potências é conhecida como

perdas, que são provenientes de diversas fontes e podem ser discriminadas e mensuradas através de ensaios e cálculos adequados.

Desta forma, o objetivo geral deste trabalho é a “Automação da Bancada didática para realização de ensaios em motores elétricos de indução”, que servirá como uma ferramenta no processo de criação do conhecimento. Para tanto, o trabalho será dividido em etapas que formarão os objetivos específicos:

- Realizar estudo de motores elétricos e dos principais equipamentos utilizados em automação industrial como transdutores, analisadores de potência, sistemas e softwares de controle e supervisão, sensores, redes industriais, etc.
- Fazer uso da ferramenta SCADA objetivando a criação de um instrumento virtual para controle e aquisição de grandezas elétricas, mecânicas e térmicas do sistema em tempo real.
- Integrar os equipamentos elétricos e conectar ao software supervisor para criação do sistema e automação da bancada didática.
- Testar a bancada ensaiando motores de baixa potência para verificar a sua funcionalidade e realizar sua calibração.

## 2 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Neste capítulo apresenta-se o embasamento teórico desta pesquisa, necessários para a automação da bancada, e aborda os assuntos: Motores de Indução Trifásicos, Automação Industrial, Transdutores, Sensores, Ferramentas para criação de Sistemas Supervisórios e Redes Industriais.

### 2.1 REVISÃO DE LITERATURA

#### 2.1.1 Motores Elétricos

O motor elétrico é uma máquina que transforma energia elétrica em mecânica.



**Figura 1 Motor de indução**

**Fonte: Catálogo WEG (2008).**

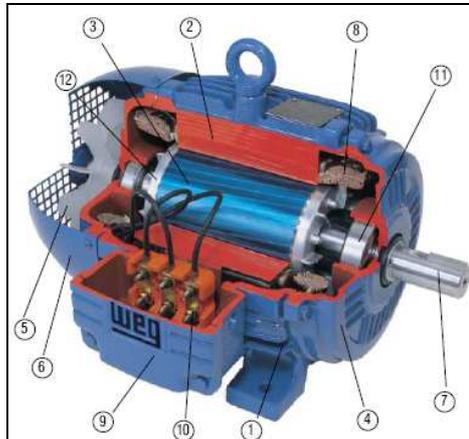
Os motores elétricos são divididos em dois grandes grupos, os motores de corrente contínua (CC) e os motores de corrente alternada (CA).

Nesta revisão de literatura serão abordados apenas o motor de corrente alternada trifásico, pois é o foco deste trabalho.

#### 2.1.1.1 Motor de indução trifásico

O Motor de Indução Trifásico (MIT) é alimentado por um sistema trifásico a três fios, em que as tensões estão defasadas de  $120^\circ$  elétricos. Representam a grande maioria de motores empregados nas instalações industriais (FILIPPO FILHO, 2000).

É constituído basicamente pelo estator e pelo rotor conforme pode ser visualizado na figura 2.



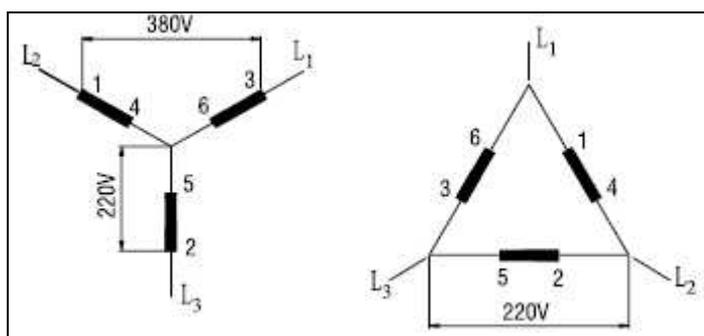
**Figura 2 Motor de indução trifásico em corte**

**Fonte: Catálogo WEG (2008).**

- 1 – Carcaça;
- 2 – Núcleo de chapas do estator;
- 3 – Núcleo de chapas do rotor;
- 4 – Tampa;
- 5 – Ventilador;
- 6 – Tampa defletora;

- 7 – Eixo;
- 8 – Enrolamento trifásico;
- 9 – Caixa de ligação;
- 10 – Terminais;
- 11 – Rolamentos;
- 12 – Barras e anéis de curto circuito;

O enrolamento do motor trifásico é composto por três fases idênticas, simetricamente distribuídas no interior do estator e interligadas em estrela ou triângulo conforme tensão da rede de alimentação.



**Figura 3** Ligação estrela-triângulo  $Y\Delta$

**Fonte:** Catálogo WEG (2008).

O funcionamento de um motor de indução baseia-se no princípio da formação do campo magnético girante produzido no estator pela passagem da corrente alternada em suas bobinas, cujo fluxo, por efeito de sua variação, se desloca ao redor do rotor, induzindo neste correntes que pela lei de Lenz tendem a se opor ao campo girante do estator, sendo, no entanto, arrastado por ele (MAMEDE, 2001).

O motor de indução opera normalmente a uma velocidade constante, variando ligeiramente com a aplicação da carga mecânica ao eixo, porém, a velocidade do campo girante permanece sempre constante e depende apenas da frequência da rede de alimentação e do número de pólos do motor. Chama-se escorregamento a

diferença entre a velocidade do campo magnético girante criado no estator e a velocidade real mecânica.

### **2.1.2 Automação Industrial**

Mamede diz:

Certa ocasião, presente a um seminário sobre automação industrial, um palestrante iniciou sua apresentação profetizando: “no futuro, as fábricas só terão dois seres vivos – um homem e um cão de guarda”. Como era de se esperar, alguém da platéia indagou ao palestrante: “para que serve o homem?” A resposta foi enfática: “para cuidar do cão” (MAMEDE, 2001, p. 423).

O crescente avanço tecnológico nas mais diversas áreas do conhecimento humano tem se mostrado, nos últimos anos, surpreendente. A utilização de automação nas indústrias tem sido cada vez maior, proporcionando um aumento na qualidade e quantidade da produção e, ao mesmo tempo, oferecendo preços atrativos. Ou seja, a utilização da automação aumenta a eficiência, tornando as empresas competitivas no mercado. Portanto, trata-se de um caminho de uma única mão.

Para se fazer frente à concorrência procura-se aumentar a produtividade (razão entre o volume produzido e os recursos empregados), reduzir custos de produção e aumentar a qualidade dos produtos oferecidos. Ao mesmo tempo, para atender às exigências de diversidade do mercado consumidor e a gradativa redução da vida útil dos produtos, procura-se ampliar a flexibilidade na utilização dos sistemas produtivos (MAITELLI, 2003).

“A automação industrial pode ser definida como um conjunto de técnicas destinadas a tornar automáticos vários processos na indústria, substituindo o trabalho muscular e mental do homem por equipamentos diversos” (MAITELLI, 2003, p. 84).

### 2.1.3 Transdutores

São equipamentos capazes de transformar medidas elétricas, térmicas, mecânicas etc., em valores proporcionais de tensão e corrente.



**Figura 4 Transdutor UPD600**

**Fonte: Catálogo KRON (2002).**

Segundo Mamede (2001), os transdutores exercem papel imprescindível no campo da medição e controle e permitem fornecer dados localmente ou de forma alternativa, remotamente através de saída serial. Os transdutores com saída serial podem ser conectados diretamente a um micro computador que irá processar os dados e fornecê-los da forma desejada.

A saída serial de dados, usando um protocolo de comunicação adequado, dependendo do fabricante, faz destes equipamentos uma escolha ideal para aplicação em sistemas de automação com o tratamento de dados adquiridos para um sistema SCADA.

### 2.1.4 Sensores

Sensores são dispositivos destinados a detecção de grandezas, tais como presença, temperatura, velocidade, pressão etc.

Dentro de um projeto de automação, usando técnicas digitais, o sensor, ao detectar a grandeza, sensibiliza um controlador que através de um contato seco, que corresponde ao sinal digital, sensibiliza na rede de comunicação essa informação que é utilizada para os mais diversos fins (THOMAZINI, 2007).

Segundo Mamede (2001), os sensores comumente utilizados em processos industriais são:

#### 2.1.4.1 Sensor de presença

Os sensores de presença, também conhecidos como sensores de proximidade, estão disponíveis no mercado basicamente em cinco versões:

##### 2.1.4.1.1 Indutivo

Os sensores indutivos possuem alta frequência de chaveamento e detectam metais, sem contato.



**Figura 5 Sensor Indutivo**

**Fonte: Catálogo SENSE (2010).**

O sensor indutivo possui um oscilador que opera em conjunto com uma bobina localizada na sua parte frontal, criando um campo magnético de elevada frequência, cujas linhas de campo se projetam para fora, nas proximidades do dispositivo. A presença de um material metálico próximo a face sensora provoca uma dispersão magnética que sensibiliza o circuito eletrônico.

#### *2.1.4.1.2 Capacitivo*

Os sensores Capacitivos atuam na presença de um material não metálico próximo a sua face sensora. Utilizam o princípio capacitivo onde a aproximação de qualquer tipo de material altera a capacitância medida pelo sensor, que por sua vez faz a atuação na saída.



**Figura 6 Sensor Capacitivo**

**Fonte: Catálogo SENSE (2010).**

#### *2.1.4.1.3 Magnético*

Os sensores magnéticos são projetados para atuarem na presença de um material magnético, com a vantagem de detectar materiais a uma distância maior.



**Figura 7 Sensor Magnético**

**Fonte: Catálogo SENSE (2010).**

#### *2.1.4.1.4 Sensor Óptico*

O sensor óptico é um dispositivo que opera com feixe de luz infravermelho, sendo constituído por um emissor e um receptor. A interrupção do feixe de luz ativa um solenóide que atua sobre um contato seco.



**Figura 8 Sensor Óptico**

**Fonte: Catálogo SENSE (2010).**

### **2.1.5 Sistemas supervisórios (SCADA)**

Os níveis de hierarquia em sistemas de automação podem ser definidos como Processos Físicos, Sensores e Atuadores, Controle Regulatório, Alarme e Intertravamento, Supervisão e Gerência (LIMA, 2004).

Na camada de supervisão é possível encontrar desde sistemas mais simples, apenas com interfaces homem-máquina (IHM) locais, até malhas de supervisão equipadas com computadores poderosos e com os sistemas SCADA.

O termo SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) na automação é utilizado para denominar sistemas de supervisão, controle e aquisição de dados composto por um ou mais computadores monitorando e/ou controlando um processo (VIANA, 2008).

O objetivo principal dos sistemas SCADA é propiciar uma interface de alto nível entre o operador e o processo alertando o operador "em tempo real" sobre todos os eventos de importância da planta.

Historicamente temos que os softwares SCADA surgiram em diversos tamanhos, diversos sistemas operacionais e com diversas funcionalidades englobadas. Na área de instrumentação, fez-se necessário uma adequação dos instrumentos para torná-los mais inteligentes. Logo, o padrão para transmissão de sinais analógicos de 4-20mA cedeu espaço para a transmissão digital de dados. Exemplos de alterações que comprovam integralmente o avanço associado à automação industrial (MAITELLI, 2003).

Um importante desenvolvimento resultante do uso de sistemas SCADA foi o conceito de Instrumentação Virtual, o qual oferece vários benefícios a engenheiros e cientistas que precisam de maior produtividade, precisão e rendimento.

Os instrumentos virtuais representam um segmento fundamental dos sistemas de instrumentação baseados no hardware com sistemas centrados, e em software que aproveitam, ao máximo, o potencial de cálculo, produtividade, exibição e capacidade de conexão dos PCs de escritório e estações de trabalho. Com os instrumentos virtuais, os engenheiros e cientistas construíram sistemas de medição e automação que se ajustam exatamente a necessidades definidas pelo usuário, em lugar de estarem limitados aos instrumentos tradicionais de funções fixas (definidos pelo fabricante).

#### 2.1.5.1 O LabVIEW e a criação de instrumentos Virtuais

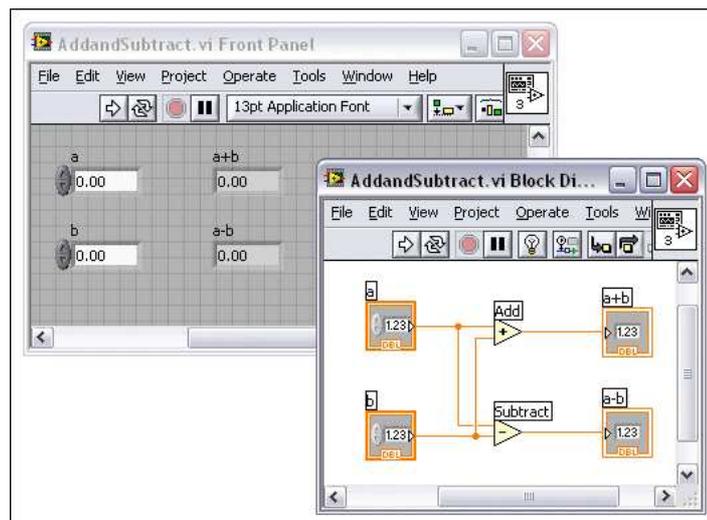
O LabVIEW é uma linguagem de programação gráfica pertencente à National Instruments, pioneira na área de instrumentação virtual. Ele disponibiliza um ambiente que é fácil de utilizar e foi desenvolvido focando as necessidades dos engenheiros e cientistas. Tem ainda poderosas características que facilitam a conexão a uma grande variedade de hardware e de outros softwares.

##### 2.1.5.1.1 Componentes

Os principais componentes que constituem os Instrumentos Virtuais (IV's ou VI's) no LabView são:

- Painel frontal: faz a interface com o usuário;
- Diagrama de Blocos: contém o código gráfico fonte que define as funcionalidades dos instrumentos virtuais;

- Ícone e Painel de ligação: identifica o instrumento virtual de modo que é possível inserir este em outro instrumento virtual e corresponde ao conceito de sub-rotina numa linguagem baseada em texto.



**Figura 9 Painel frontal e Diagramas de blocos no LabView.**

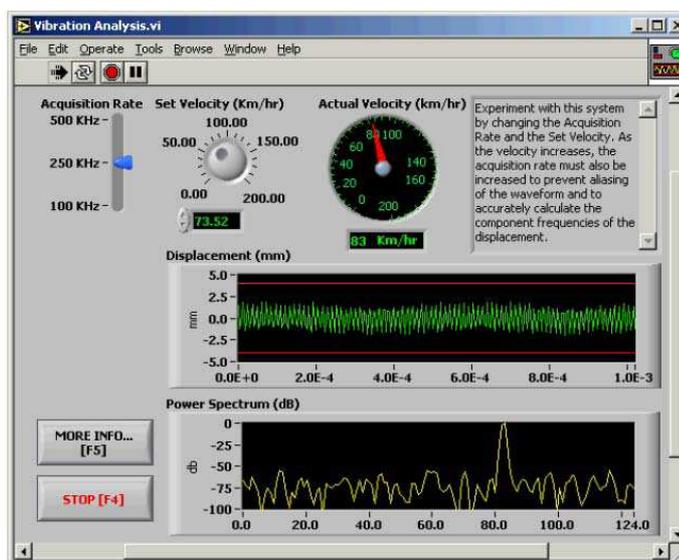
**Fonte: Catálogo LabVIEW (2011).**

#### *2.1.5.1.2 Programação gráfica*

Uma das características mais poderosas que o LabView oferece é um meio ambiente gráfico de programação. Com o LabView pode-se desenhar instrumentos virtuais sob medida criando interfaces gráficas com o usuário no painel do computador na qual se pode:

- 1 – operar o programa de instrumentação;
- 2 – Controlar o hardware selecionado;
- 3 – Analisar e visualizar os dados adquiridos;

Pode-se personalizar o painel com botões, mostradores, gráficos a fim de simular instrumentos tradicionais, criar painéis com ensaios personalizados e representar visualmente o controle de operações e processos.



**Figura 10** Painel frontal de um Instrumento Virtual feito no LabView

Fonte: Catálogo LabVIEW (2011).

É possível determinar o comportamento dos instrumentos virtuais conectando ícones entre si para criar diagramas de blocos, que são notações de desenho usuais na engenharia. Com essa linguagem gráfica pode-se desenvolver sistemas mais rapidamente do que com linguagens de programação convencionais, enquanto que conserva a potência e a flexibilidade necessárias para criar uma variedade de aplicações.

#### 2.1.5.1.3 Conectividade e controle dos instrumentos

A produtividade do software de instrumentação virtual é tal que inclui o reconhecimento do hardware. Projetado para criar ensaios, medições e controle de

sistemas, o software de instrumentação virtual inclui uma extensa funcionalidade para entradas e saídas de praticamente quaisquer tipos.

O LabView possui bibliotecas prontas para serem utilizadas para integrar instrumentos automáticos, grupos de aquisição de dados, produtos para controle de movimento e de visão que permitem construir uma solução completa de medição e automação. O LabView também tem incorporado simbologia de normas importantes de instrumentação, tal como a ISA (The Instrumentation, Systems and Automation Society) Um grande número de fabricantes de hardware e software desenvolvem e mantêm centenas de bibliotecas da LabView.

#### *2.1.5.1.4 Visualização*

O LabView inclui um conjunto de ferramentas de visualização para apresentar os dados na interface do usuário de instrumentação virtual, tanto para gráficos contínuos como também para gráficos 2D e 3D. É possível configurar instantaneamente, os atributos para apresentação dos dados tais como: cores, tamanho da fonte, tipos de gráfico, efetuar rotação, foco (zoom), etc. Ao invés de programar gráficos e seus atributos a partir do início, simplesmente arrasta e retira estes objetos de dentro dos painéis dos instrumentos.

#### **2.1.6 Redes Industriais**

As redes de comunicação industrial, basicamente se caracterizam pela relação informações versus tempo. As diversas propostas para interligar equipamentos industriais com computadores que tratam as informações, buscam sempre estruturas

que garantam a segurança na transmissão dos dados, e a velocidade de comunicação (SILVEIRA, 2007).

Segundo Franco (2006), os fieldbus são tecnologias de comunicações e protocolos usados em automação e controle de processos industriais, formando uma rede industrial. Pode-se distinguir entre fieldbus proprietário e aberto. Os fieldbus proprietários são aqueles que as informações necessárias para interligação com produtos de outras marcas não são disponibilizados pelos fabricantes, o que é inverso no fieldbus aberto.

Os meios de comunicação entre os equipamentos na rede industrial, são geralmente os meios seriais, ou seja, os padrões de RS (Recommended Standard). Esses padrões surgiram em meados de 1962, pela necessidade de se interligar dois ou mais pontos em uma rede de computadores. Sua especificação foi criada pela Eletronics Industry Association (EIA), e definiu-se como sendo RS as siglas que a designariam. Outros meios são as fibras óticas, que pouco usadas oferecem uma taxa de transmissão altíssima e as maiores velocidades do mercado. Outros meios físicos de transmissão de dados usados em redes industriais são os pares trançados e cabos coaxiais. A meio coaxial e tecnologia Ethernet, estão no momento sendo implementados de forma ampla, graças a sua integração com o protocolo TCP/IP.

#### 2.1.6.1 Padrões Seriais

O padrão serial RS (Recommended Standard), define-se em dois modos de transmissão: O Single-Ended Data Transmission e o Differential Data Transmission.

O primeiro modelo, o Single-Ended (também chamado de ponto-a-ponto), é caracterizado pela comunicação de uma ponta a outra. Ou seja, em uma rede com um mestre e n escravos, deve sair do dispositivo mestre um cabo para cada

escravo. Outro detalhe do modo Single-Ended, é que os dados são representados em níveis de tensão elétrica em relação a um terra comum. Esse sistema torna a rede serial lenta, aproximadamente 20 kbits/s (kilobits por segundo) de transmissão e a curtas distâncias de aproximadamente 15 metros sem repetidores. O modo Single-Ended é encontrado nos padrões RS232C e RS423 (ARC, 2004).

O Segundo modelo, o Differential Data Transmission, oferece uma alta taxa de transmissão, aproximadamente 100 Kbits/s e longas distâncias, chegando até 1200 metros. Usa-se uma linha diferenciada, o que implica que o dado é representado pela corrente e não pela tensão elétrica como no modelo Single-Ended. O Differential possibilita, pela sua estrutura, uma conexão multi-ponto, onde pode-se ter uma conexão de um mestre e vários escravos compartilhando mesmo meio. Essas implementações podem ser encontradas nos padrões RS422 e RS485 (ARC, 2004).

#### *2.1.6.1.1 RS232C*

O padrão RS232C possui canais independentes de transmissão, ou seja, uma linha para transmissão e outra para recepção de dados. Os dados são representados por sinais através de níveis de tensão elétrica. Segue o modelo de comunicação Single-Ended, e possui uma taxa de transmissão relativamente baixa, chegando até 20kbps a uma distância de 15 metros. É comumente usada para conexão entre dois equipamentos.

#### 2.1.6.1.2 RS422

O padrão RS422, permite a conexão de equipamentos a longas distâncias e altas taxas de transmissão em relação ao RS232C. Isso por que utiliza o modelo de transmissão diferencial, possibilitando a transmissão a 10 Mbps e a uma distância de 1200 metros. Além de possibilitar uma conexão multi-ponto, com um mestre e 10 receptores.

#### 2.1.6.1.3 RS423

A RS423 assim como a RS422 permite a conexão a longas distâncias, aproximadamente 1200 metros e altas taxas de transmissão, chegando até 100kbps. Sua velocidade é inferior a RS422, por utilizar o modelo Single-Ended. Permite conexão multiponto, com um mestre e 10 receptores na rede.

#### 2.1.6.1.4 RS485

A RS485 diferencia-se dos demais modelos, por utilizar um ou dois pares de fios para transmissão de dados. Tem isolamento óptico, e trabalha a taxas de transmissão de 10 Mbps e aproximadamente 1200 metros de distância, sem amplificação do sinal. Permite a conexão multi-ponto, suportando até 32 equipamentos na rede, ou seja, um mestre e 31 escravos. Utiliza o modelo Diferencial para transmissão.

### 2.1.6.2 Protocolo MODBUS

Protocolo é, segundo Tanenbaum (2004), um conjunto de regras e convenções para conversação. Essas regras definem a comunicação entre dois equipamentos, sejam eles computadores, máquinas ou sistemas compostos por computadores e máquinas. Nos protocolos são definidas as sintaxes como os equipamentos irão ordenar os dados de forma que fiquem entendidos por ambos os lados que fazem parte da comunicação.

O protocolo Modbus da companhia Gold Modicon define uma estrutura de mensagem que os controladores reconhecerão e usarão, independente do tipo de rede acima deles. O protocolo Modbus também descreve o processo que um controlador usa para pedir acesso a outros dispositivos, como responderá a pedidos desses outros dispositivos, e como serão descobertos erros da comunicação e serão informados à sua origem. Em outras palavras, o protocolo fornece um formato comum para o plano e conteúdo de campos de mensagem (MORAES, 2007).

Sendo o Modbus uma linguagem informática independente do material, esta permite o diálogo entre equipamentos de natureza e construtores diferentes. Também é importante ressaltar que existem várias implementações do protocolo Modbus. Como sua especificação é bastante ampla, às vezes não é necessário implementar todas as suas especificações para se ter uma rede industrial padrão Modbus em funcionamento, ou seja, tem-se como padrão de mercado o formato simples de mensagens que o Modbus utiliza.

Outra definição para o Modbus em nível de controladores, é que ele provê o padrão interno que os controladores usam para analisar gramaticalmente as mensagens. É o Modbus que possibilita a um controlador reconhecer uma mensagem dirigida a ele, determinar o tipo de ação a ser efetuada, e extrair os dados contidos na mensagem.

Se uma resposta é requerida, o controlador construirá a mensagem de resposta e enviará a mesma usando o protocolo Modbus (SCHNEIDER, 2007).

#### *2.1.6.2.1 Modelos de transmissão serial com MODBUS*

Geralmente os controladores que utilizam o Modbus como protocolo de comunicação, podem ou não permitir a utilização dos dois modos de transmissão: ASCII (American Standard Code for Information Interchange) e/ou RTU (Remote Terminal Unit). Os usuários escolhem o modo desejado, juntamente com os parâmetros de comunicação como, taxa de transmissão, bits de paridade, etc.

A seleção de ASCII ou RTU define o número de bits em um campo de mensagem transmitida serialmente na rede. Define também como serão empacotadas e decodificadas as informações.

- Modo ASCII

Quando os controladores são organizados para comunicar em uma rede Modbus que usa o modo ASCII, cada byte hexadecimal representa dois caracteres ASCII, ou seja, o número 05h é representado pelos caracteres 0 e 5 em ASCII, que em binário representam 0000000 e 00000101. A vantagem desse modo, é que permite um intervalo de até um segundo entre cada caractere enviado, sem causar um erro.

##### a) Sistema de Código

- Hexadecimal, ASCII caracteres: 0 .. 9, A .. F
- Um caractere Hexadecimal, contém dois caracteres ASCII

##### b) Sistema de transmissão

- 1 start bit;
- 7 data bits;
- 1 stop bit se a paridade é usada ou 2 stop bits se paridade não é usada

c) Campo de Paridade

- Paridade de Redundância Longitudinal (LCR)

- Modo RTU

Quando os controladores são organizados para comunicar em rede Modbus que usa o modo RTU, cada byte, ou oito bits, representa dois números. Isso se deve ao fato do modo RTU representar valores dentro do padrão BCD Packed. O primeiro número é representado pelos quatro bits mais representativos e segundo pelos quatro bits menos representativos. Em resumo, teremos os números 1 e 9 representados por 00011001 que é o hexadecimal 19. A vantagem principal desse modo, é que sua maior densidade de caracteres, permite um melhor processamento dos dados que o modo ASCII em uma mesma taxa de transmissão.

a) Sistema de Código

- Hexadecimal: 0 .. 9, A .. F

- Dois caracteres Hexadecimais contêm oito bits do campo de mensagem

b) Sistema de transmissão

- 1 start bit;

- 8 data bits;

- 1 stop bit se a paridade é usada ou 2 stop bits se paridade não é usada

c) Campo de Paridade

- Paridade de Redundância Cíclica (CRC)

### 3 AUTOMAÇÃO DA BANCADA DE ENSAIOS DE MOTORES

#### 3.1 METODOLOGIA PARA ENSAIO

Após uma pesquisa literária sobre o assunto decidiu-se por assumir a norma NBR5383 como referência principal, determinando o conjunto de procedimentos, com base nas prescrições da norma. Outras normas são consultadas quando necessário, como a NBR 17094-1. Segundo a associação Brasileira de Normas Técnicas, uma NBR tem caráter voluntário e é fundamentada no consenso da sociedade, tornando-se obrigatória quando estabelecido pelo poder público, na forma de leis, decretos portarias, etc.

Para a faixa de potência, tipo de motor e instalações do laboratório, a NBR 5383 prescreve os seguintes ensaios para a determinação de características de desempenho e conformidade com a norma NBR17094: a vazio, rotor bloqueado, térmico, de partida, dielétrico, sobrevelocidade, nível de ruído, tensão no eixo e vibração.

A NBR 17094 fixa requisitos básicos a serem atendidos pelos motores de indução trifásicos e separa os ensaios em três classes: ensaios de rotina, ensaios de tipo e ensaios especiais. A tabela I mostra os ensaios prescritos pela NBR 5383 e a respectiva classificação dada pela NBR 17094.

Tabela I: Ensaio normativos e sua classificação.

<b>Ensaio prescritos pela NBR 5383</b>	<b>Classificação segundo a NBR17094</b>
A vazio	Rotina/Tipo
Rotor bloqueado	Rotina/Tipo
Térmico	Tipo

Rendimento	Tipo
Partida	Especial

Há outros ensaios prescritos pela norma, no entanto, não aplicáveis devido a fatores como potência dos motores ensaiados, instalações do laboratório e necessidade de acesso interno aos motores.

O anexo A trás uma tabela completa (Tabela 25) de Ensaios para verificação do desempenho de motores de indução, extraída da NBR17094.

Antes de dar início ao ensaio é necessário coletar os dados de placa do motor. Algumas informações que, normalmente, não constam na placa são requeridas, como o tempo máximo de rotor bloqueado, a elevação de temperatura e tempo necessário para o motor atingir o equilíbrio térmico.

O conjunto de ensaios escolhidos é realizado de forma a otimizar o tempo e atender ao que é prescrito pela norma. Para tanto, respeitando a norma, algumas alterações são efetuadas para que o maior número de procedimentos seja cumprido com o menor intervalo de tempo, esse conjunto alterado é separado em passos a serem cumprido, conforme descrição a seguir.

### **3.1.1 Resistencia Elétrica a Frio**

O primeiro ensaio a ser realizado é de Resistência Elétrica a frio das três fases do estator do motor. Este ensaio deve ser realizado com microhmímetro e registrado no programa juntamente com a temperatura ambiente.

#### 3.1.1.1 Generalidades e requisitos para a realização do ensaio

O motor a ser ensaiado deve permanecer sob a temperatura ambiente do local de ensaio por um período mínimo de 10 horas, para equalização de temperatura (motor ambientado).

A temperatura ambiente deve ser medida com um termômetro ou PT-100, cujo bulbo ou haste deve estar dentro de uma cuba com óleo ou bloco de metal para simular uma inércia térmica, próximo ao local onde está o motor. Caso o motor a ser ensaiado esteja com uma temperatura na carcaça diferente da ambiente, deve ser considerada para o cálculo a temperatura do motor medida na parte superior da carcaça por um período de no mínimo 15 minutos, ou a temperatura média medida nos detectores de temperatura instalados no enrolamento do estator. Esta temperatura deverá ser utilizada como temperatura ambiente para correção de valores.

Medir a resistência ôhmica a frio em cada fase do motor e verificar se não há desequilíbrio nas medidas (variação entre fases). Verificar também se os valores obtidos estão de acordo com a especificação eletromecânica do motor.

#### 3.1.1.2 Aparelhos necessários

Uma Ponte Kelvin ou Microhmímetro digital e Termômetro ou PT-100 e cuba de óleo ou bloco de metal.

### 3.1.1.3 Procedimento de ensaio

Verificar se o motor está ambientado, calibrar e ajustar o aparelho conforme suas instruções de operação (selecionar escala adequada), conectar as garras do aparelho aos terminais do enrolamento do motor e realizar as leituras da resistência elétrica a frio e da temperatura ambiente e registrá-las.

Calcular o valor correspondente a 20°C, pela fórmula abaixo:

$$R(20^{\circ}C) = \left( \frac{K + 20}{K + T_a} \right) \times R(T_a)$$

Onde:

- R (Ta ) = Resistência medida ( $\Omega$ );
- K = 234,5 para o cobre eletrolítico e 225 para o alumínio;
- Ta = Temperatura ambiente ( $^{\circ}C$ ) medida;
- R(20°C) = Resistência correspondente a 20°C ( $\Omega$ ).

### 3.1.2 Rotor Bloqueado

Este capítulo descreve o procedimento para a realização do ensaio com rotor bloqueado em motores de indução trifásicos, visando determinar os valores de corrente, potência absorvida e o conjugado.

### 3.1.2.1 Informações Complementares

Para o ensaio de rotor bloqueado com a alimentação trifásica, o rotor deverá estar devidamente travado. As leituras executadas no ensaio são tensão de alimentação do motor, corrente absorvida pelo motor, potência absorvida e conjugado de partida.

As leituras devem ser simultâneas e o ensaio deve ser realizado na tensão nominal do motor, ou até 10% abaixo desse valor.

### 3.1.2.2 Equipamentos

Para medição das grandezas elétricas será utilizado multimedidor e o torque será medido através de uma célula de carga.

### 3.1.2.3 Procedimento

Bloquear o rotor, aplicar tensão com frequência nominal e realizar as medições citadas.

## 3.1.3 Elevação de Temperatura

Este capítulo descreve a sequência de operações a ser obedecida no ensaio de elevação de temperatura em motores de indução, pelo método da resistência.

### 3.1.3.1 Generalidades e requisitos para a realização do ensaio

A fonte de alimentação deverá atender as condições de tensão e frequência segundo normas técnicas específicas para fontes de alimentação de energia elétrica em corrente alternada. A carga será aplicada ao motor através do dinamômetro. Quando o conjugado nominal do motor for superior à capacidade do dinamômetro, o ensaio deverá ser realizado com potência e tensão reduzidas. A temperatura ambiente é determinada através de PT-100 localizado a uma distância mínima de um metro da entrada de ar do motor e as leituras a serem executas no ensaio serão horário, rotação, conjugado, tensão, corrente, potência, temperatura da carcaça e temperatura ambiente.

As medições devem ocorrer em intervalos de tempos iguais (mínimo de quatro leituras em uma hora), até que a variação de temperatura entre a carcaça e a temperatura ambiente não exceda a 1°C no período de uma hora. Deve ser evitado que no motor incida qualquer corrente de ar que não seja provocada por seus próprios meios de refrigeração. Sempre que possível este ensaio deverá ser realizado na maior tensão nominal de placa do motor.

### 3.1.3.2 Aparelhos necessários

Dinamômetro para aplicação da carga, PT-100, Ponte Kelvin ou microhmímetro digital, microcomputador, multimedidor, transdutores e TC.

### 3.1.3.3 Procedimento de ensaio

Acoplar o motor ao dinamômetro, cuidando para que os eixos fiquem alinhados. Efetuar as ligações externas do motor conforme esquema de placa para a maior tensão nominal e medir a resistência elétrica na ligação. Fixar o PT-100 na carcaça com massa de calafetar. Dar partida ao motor e ajustar a tensão e o conjugado conforme especificado. Corrigir sempre o conjugado aplicado em função da rotação medida, exceto para motores categoria D, onde o conjugado deve permanecer constante. Efetuar as leituras selecionando as escalas de tensão e corrente adequadas e registrar os resultados. Repetir os dois últimos passos até que a variação de temperatura entre a carcaça e a temperatura ambiente não exceda a 1°C no período de uma hora. Desligar a alimentação, realizar as leituras da resistência elétrica a quente e da temperatura ambiente e registrá-las.

Calcular a sobrelevação de temperatura ( $\Delta t$ ) do(s) enrolamento(s):

$$\Delta t = \frac{R_q - R_f}{R_f} \cdot (K + T_{af}) + (T_{af} - T_{aq})$$

Onde:

$R_f$  = Resistência a frio, em  $\Omega$ ;

$R_q$  = Resistência a quente, em  $\Omega$ ;

$K$  = 234,5, para o cobre eletrolítico e 225 para o alumínio;

$T_{af}$  = Temperatura ambiente a frio, em °C;

$T_{aq}$  = Temperatura ambiente a quente, em °C;

### **3.1.4 Ensaio em carga**

Este capítulo descreve a sequência de operações a ser seguida no ensaio em carga, visando determinar o comportamento de motores de indução trifásicos, quando sujeitos às variações de conjugado.

#### **3.1.4.1 Generalidades e requisitos para a realização do ensaio**

A fonte de alimentação deverá atender as condições de tensão e frequência segundo normas técnicas específicas para fontes de alimentação de energia elétrica em corrente alternada. A carga será aplicada ao motor através do dinamômetro. O ensaio em carga deve ser realizado nos pontos de 25, 50, 75, 100, 125 e 150% do conjugado nominal. As leituras a serem executadas nos pontos de carga definidos são tensão média entre fases, corrente nas três fases, potência absorvida, conjugado, rotação e frequência de alimentação.

As medições devem ser executadas a partir do ponto de maior para o de menor conjugado. Antes do início do ensaio, deve-se zerar a célula de carga usada na medição do conjugado. O ensaio em carga deve ser realizado após o ensaio de elevação de temperatura. O conjugado exigido do motor para 100% de carga é igual ao valor do ensaio de elevação de temperatura. O ensaio deve ser realizado sempre na maior tensão de placa, salvo especificação em contrário.

#### 3.1.4.2 Aparelhos necessários

Dinamômetro, PT-100, Ponte Kelvin ou microhmímetro digital, microcomputador, multimedidor, transdutores e TC.

#### 3.1.4.3 Procedimento de ensaio

Acoplar o motor ao dinamômetro, cuidando para que os eixos fiquem alinhados. Efetuar as ligações externas do motor conforme esquema de placa para a maior tensão nominal. Medir a resistência elétrica inicial e a temperatura ambiente. Partir o motor, ajustar a tensão ao valor de ensaio e aplicar a carga, mantendo constante o valor da tensão.

Efetuar as leituras necessárias e registrá-las. Repetir os procedimentos dos dois últimos passos para todos os valores de conjugado determinados.

Realizar o ensaio em vazio com o motor acoplado ao dinamômetro, ou seja, retirar a carga do motor, ajustar a tensão ao valor de ensaio e realizar as leituras. Desligar a alimentação e medir a resistência elétrica final e a temperatura ambiente.

#### **3.1.5 Conjugado máximo**

Este capítulo prescreve a sequência de operações a ser obedecida no ensaio do conjugado máximo em motores de indução trifásicos.

#### 3.1.5.1 Informações Complementares

O motor sob ensaio deve ser acoplado ao dinamômetro para aplicar conjugado resistente. As leituras a serem executadas, são tensão de linha, conjugado e rotação.

Deve ser retirado o conjugado resistente imediatamente após ter-se efetuado as leituras, a fim de evitarem-se danos ao motor.

#### 3.1.5.2 Equipamentos

Dinamômetro, célula de carga, multimedidor e tacômetro.

#### 3.1.5.3 Procedimento

Acoplar o motor ao dinamômetro, cuidando para que os eixos fiquem com um alinhamento perfeito. Efetuar as ligações externas do motor, conforme esquema de placa. Aplicar, gradativamente, um conjugado resistente ao eixo, mantendo constante o valor da tensão, até o motor sofrer uma desaceleração brusca. Retirar o conjugado resistente e registrar as leituras. Desligar a alimentação e desfazer as conexões.

### 3.1.6 Ensaio a Vazio

Este capítulo descreve a sequência de operações a ser seguida no ensaio em vazio de motor de indução trifásico.

#### 3.1.6.1 Generalidades e requisitos para a realização do ensaio

A fonte de alimentação deverá atender as condições de tensão e frequência segundo normas técnicas específicas para fontes de alimentação de energia elétrica em corrente alternada. As leituras a serem executadas no ensaio são tensão, corrente, potência absorvida e frequência de alimentação.

O ensaio em vazio deve ser realizado nos pontos de tensão conforme tabela II a seguir:

Tabela II: Níveis de tensões para ensaio a vazio.

Ponto	$(U_o/U_n)^2$
1	1.2
2	1.0
3	0.8
4	0.6
5	0.4
6	0.2

Onde:

$U_o$  = tensão aplicada no ensaio em vazio;

$U_n$  = tensão nominal do motor;

Quando não for possível utilizar as tensões limites da tabela II, deve-se utilizar o máximo ou o mínimo conseguido. As tensões indicadas na tabela II (com exceção da tensão nominal) são orientativas, ou seja, pequenas variações em torno destes valores são admissíveis.

O ensaio deve ser realizado tão rápido quanto possível, e as leituras realizadas da maior para a menor tensão;

#### 3.1.6.2 Aparelhos necessários

PT-100, Ponte Kelvin ou microhmímetro digital, microcomputador, multimedidor, transdutores e TC.

#### 3.1.6.3 Procedimento de ensaio

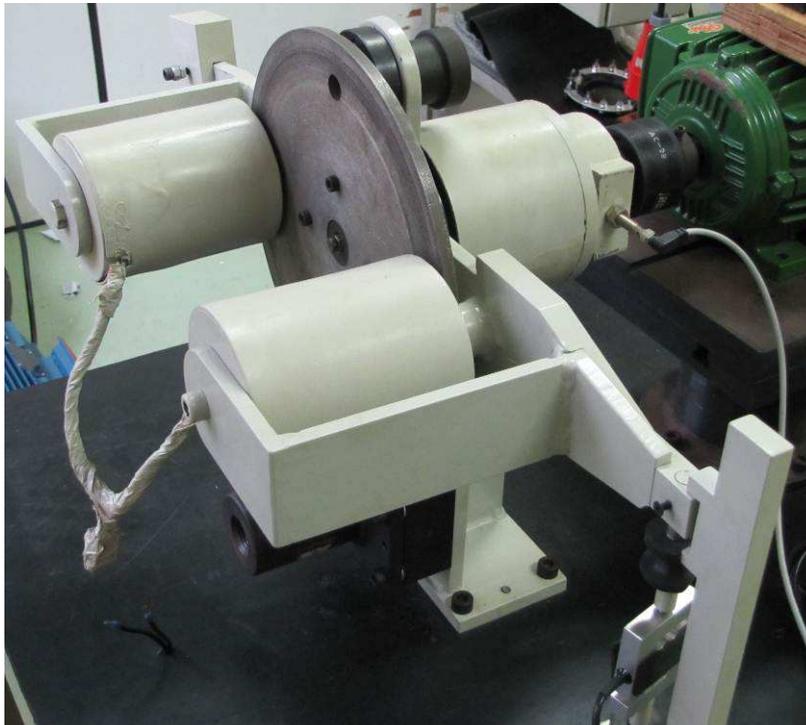
Fixar o motor adequadamente e efetuar as ligações externas conforme esquema de placa. O eixo do motor deve estar livre de qualquer esforço mecânico. Medir a resistência elétrica e a temperatura ambiente. Aplicar a tensão de ensaio conforme tabela II.

Efetuar e registrar as leituras necessárias, selecionando as escalas mais adequadas dos aparelhos de medição. Repetir os procedimentos dos dois últimos passos para todos os pontos de tensão. Desligar a alimentação e medir a resistência elétrica e a temperatura ambiente.

### 3.2 DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

A bancada para ensaio ou dinamômetro consiste basicamente de um disco de alumínio em conjunto com duas bobinas, formando um dispositivo para simulação de carga baseado no princípio de correntes parasitas induzidas no disco. Este efeito leva no nome de “Foucault” em homenagem ao descobridor deste fenômeno.

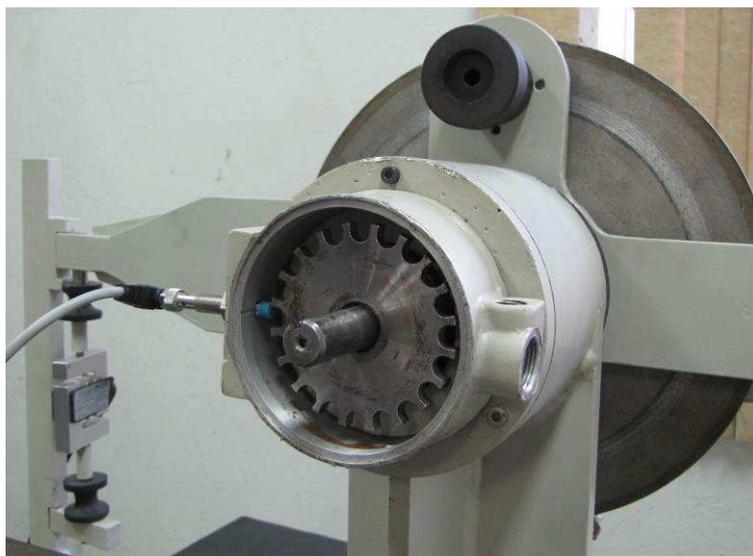
O disco de Foucault é acoplado ao eixo do motor em teste, sem travar o eixo, e um braço rígido e móvel é fixado nas bobinas e se estende de sua parte inferior lateral até, um metro de comprimento. Na outra extremidade do braço fixo há uma célula de carga, fixa também a estrutura da bancada. Portanto, as forças envolvidas entre o braço e a estrutura são transmitidas a célula.



**Figura 11 Dinamômetro: Disco de Foucault e Célula de Carga.**

**Fonte: O Autor (2011).**

No eixo do disco de Foucault há um disco dentado com um sensor indutivo responsável pela medição de velocidade. Os pulsos captados pelo sensor e provenientes do disco são enviados ao DAQ (Dispositivo de aquisição) que por sua vez enviará ao microcomputador.



**Figura 12 Disco dentado e sensor indutivo.**

**Fonte: O Autor (2011).**

O motor a ser ensaiado é colocado em uma mesa elevatória, de frente para o disco de Foucault e depois de terem seus eixos devidamente alinhados, os mesmos são acoplados.



**Figura 13 Fixação do motor.**

**Fonte: O Autor (2011).**

A mesa de comando e controle dispõe de dispositivos para o acionamento do motor em teste, regulagem de tensão, habilitação das leituras e controle da corrente CC aplicada às bobinas para simulação de carga.



**Figura 14 Mesa de Comando.**

**Fonte: O Autor (2011).**

Para medição das grandezas elétricas há um multimedidor com três canais de tensão e corrente. Cada canal de tensão possui entradas de fase e neutro e suportam no máximo 600V. Os canais de corrente suportam no máximo 5A, portanto, 3 transformadores de corrente são utilizados, um por fase, com relação de transformação de 25 para 5A.



**Figura 15 Multimedidor WEG MMW01**

**Fonte: Catálogo WEG (2011).**

O multimedidor pode entregar os valores eficazes de tensão, corrente e potência, assim como os valores de tensão e corrente instantâneos, através de amostras gravadas em sua memória interna. As medições elétricas realizadas pelo multimedidor e o conjugado medido pelo indicador de pesagem Alfa serão transmitidos ao microcomputador por meio de uma porta serial de padrão elétrico RS232, com uma velocidade máxima de 9600 baud rate.

Como a porta de comunicação do multimedidor e do indicador de carga são RS485, um conversor ADAM foi necessário convertendo o padrão serial RS232 em RS485.



**Figura 16 Conversor ADAM-4520: RS232/RS485**

**Fonte: Catálogo ADAM (2011).**

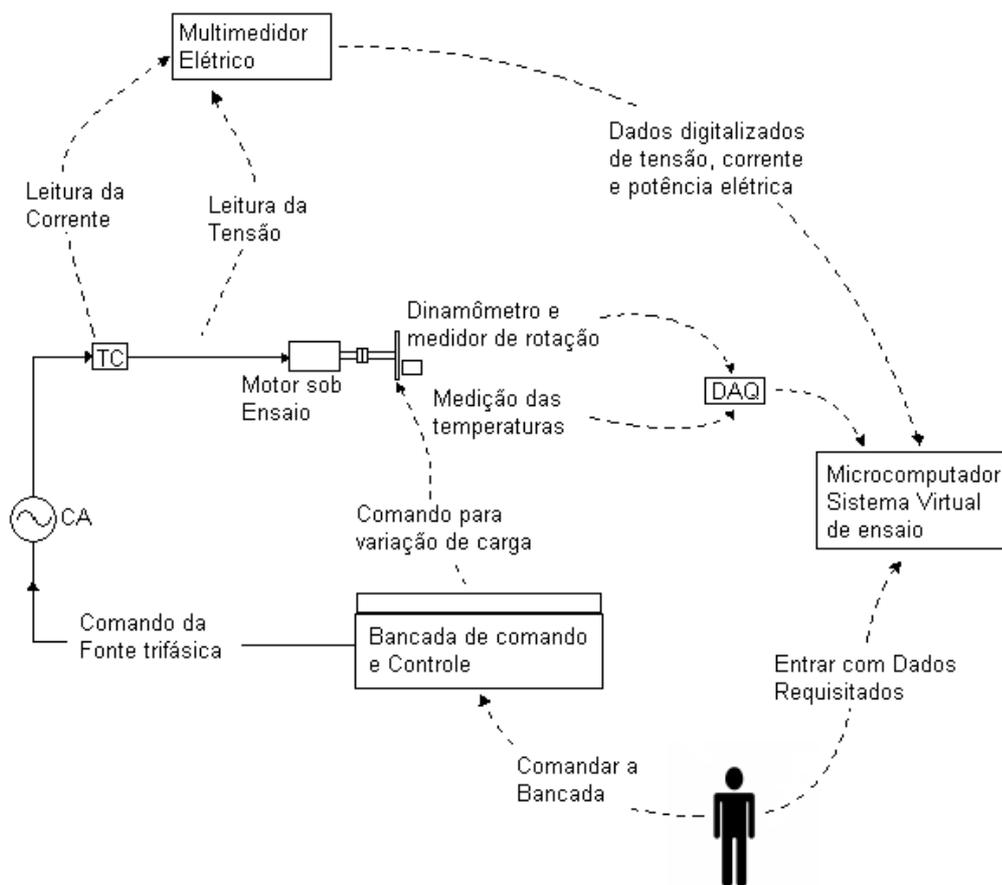
Por meio de transdutores e uma placa de aquisição (DAQ USB-6008) da National Instruments, a rotação e grandezas térmicas como temperatura do motor e ambiente são transmitidos ao microcomputador através de uma conexão USB.



**Figura 17 DAQ USB6008**

**Fonte: Catálogo LabVIEW (2011).**

Na figura abaixo é possível visualizar a interação entre os equipamentos e a relação do aprendiz com o mesmo.



**Figura 18** Visão geral do sistema de ensaio.

**Fonte:** O autor (2011).

### 3.3 DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

O programa foi criado através do LabVIEW, programa da National Instruments e consistiu na sistematização de uma metodologia de ensaios baseado na norma NBR 5383-1:2002 de forma a proporcionar uma interface entre os equipamentos de medição, computador e aprendiz.

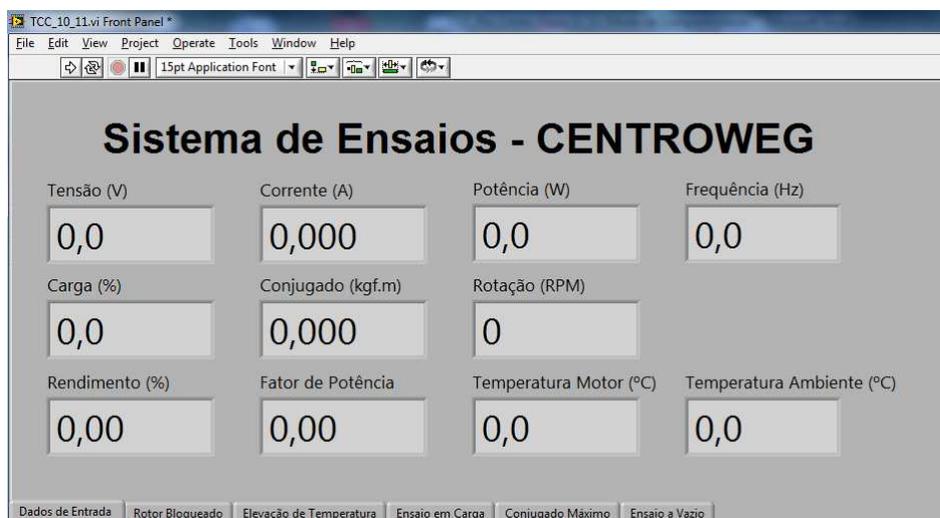
### 3.3.1 A Estrutura

O programa, ou VI (Instrumento Virtual), como é chamado pela National Instruments, foi construído em módulos, ou SubVI. Cada SubVI se caracteriza por uma função principal, buscando realizar suas tarefas de modo independente e interagindo com as outras SubVIs através da troca de dados. Desta maneira, quando necessário, novos módulos podem ser desenvolvidos e utilizados com pouca alteração na VI principal. As VIs e SubVIs desenvolvidas são:

- VI\_se: Sistema de Ensaio
- SubVI\_m: Comunicação com Multimedidor;
- SubVI\_c: Comunicação com Indicador de Carga;
- SubVI\_t: Medição das temperaturas;
- SubVI\_r: Medição de rotação

#### 3.3.1.1 VI\_se: Sistema de Ensaio

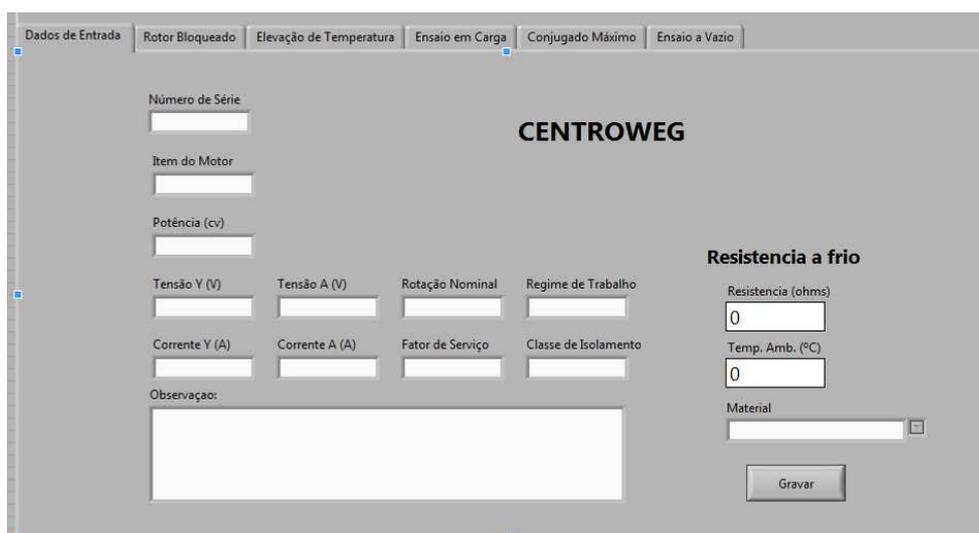
A VI\_se Sistema de Ensaio é o programa principal, que unifica todos os programas secundários ou Sub\_VI's. Esta VI apresenta as interfaces responsáveis pelo registro do motor bem como as diversas janelas para realização dos ensaios.



**Figura 19 VI\_se: Sistema de Ensaios – Tela Inicial.**

**Fonte: O autor (2011).**

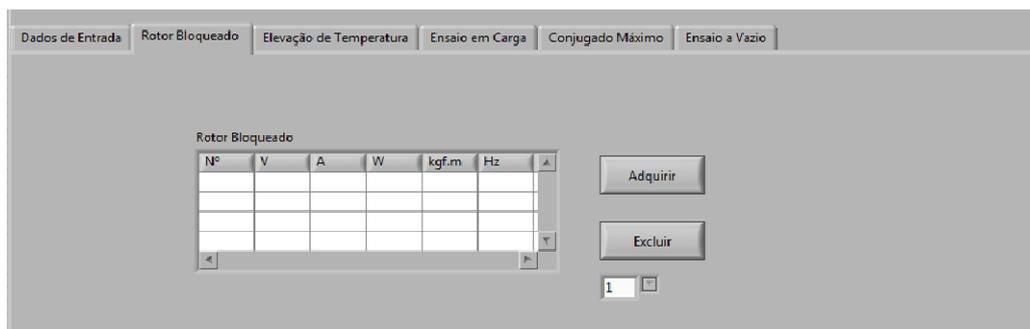
A aba para registro dos dados de entrada contém vários campos que deverão ser digitados pelo usuário como o número de série, o item do motor, a potência em cv, tensões, correntes, rotação nominal, regime de trabalho, fator de serviço e classe de isolamento. Também nesta aba deverá ser registrado o ensaio de resistência elétrica a frio e eventuais observações.



**Figura 20 VI\_se: Sistema de Ensaios – Dados de Entrada.**

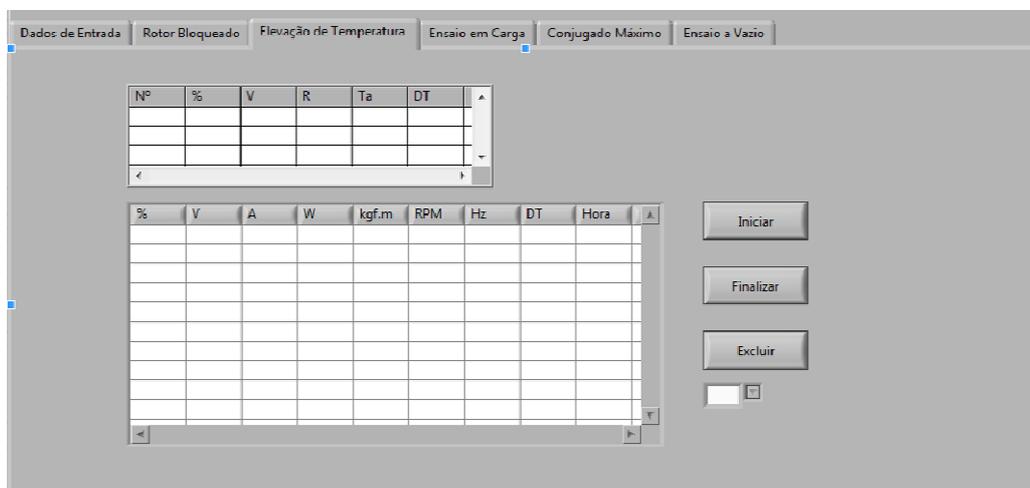
**Fonte: O autor (2011).**

As demais abas encontradas no painel frontal da VI\_se: Sistema de Ensaio são responsáveis pela realização dos ensaios conforme citado no capítulo 3.1 intitulado “Metodologia de Ensaio”. As figuras 21 a 25 mostram as diversas abas de ensaios.



**Figura 21 VI\_se: Sistema de Ensaio – Rotor Bloqueado.**

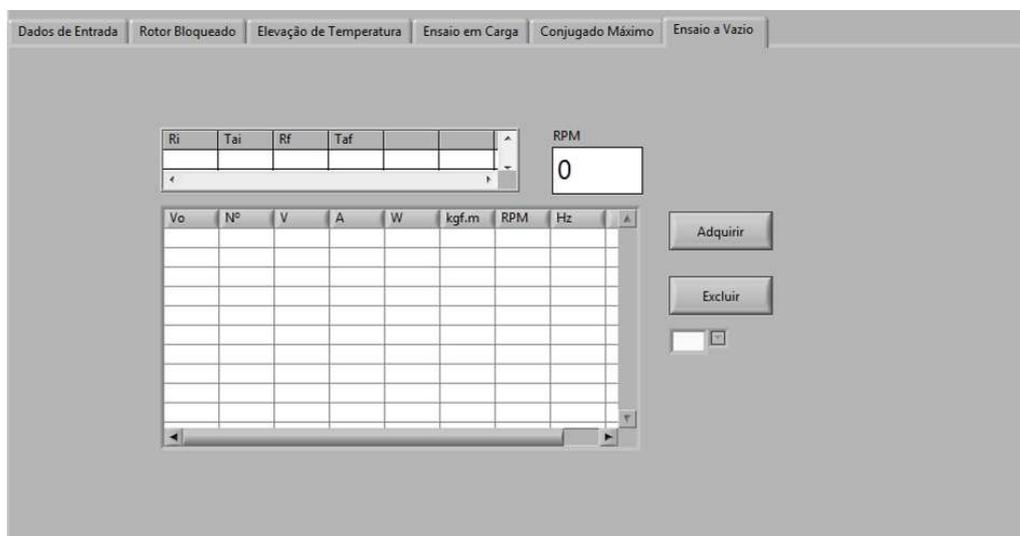
**Fonte: O autor (2011).**



**Figura 22 VI\_se: Sistema de Ensaio – Elevação de Temperatura.**

**Fonte: O autor (2011).**





**Figura 25 VI\_se: Sistema de Ensaio – Ensaio a Vazio.**

**Fonte: O autor (2011).**

### 3.3.1.2 SubVI\_m: Comunicação com Multimedidor

A subVI para comunicação e troca de informações entre o programa de ensaios e o multimedidor é dividido em outras subVI's com funções específicas. A figura 26 mostra a arquitetura da subVI responsável pelo cálculo do CRC.

CRC, do inglês Cyclic redundancy check, ou verificação de redundância cíclica é um código detector de erros, um tipo de função hash que gera um valor expresso em poucos bits em função de um bloco maior de dados, como um pacote de dados, ou um ficheiro, por forma a detectar erros de transmissão ou armazenamento.

O CRC é calculado e anexado à informação a transmitir (ou armazenar) e verificada após a recepção ou acesso, para confirmar se não ocorreram alterações. O CRC é popular por ser simples de ser implementado em hardware binário, simples de ser

analisado matematicamente, e pela eficiência em detectar erros típicos causados por ruído em canais de transmissão.

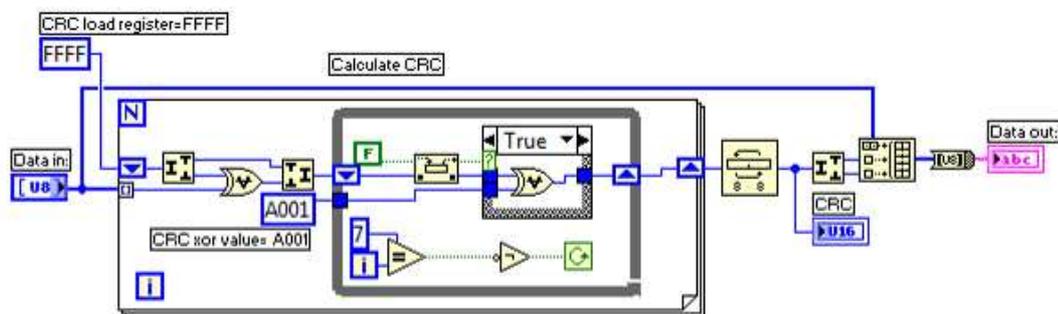


Figura 26 SubVI para cálculo do CRC.

Fonte: O autor (2011).

Para configuração da porta serial foi utilizada a subVI VISA, que o próprio LabView fornece na sua biblioteca de exemplos. A figura 27 apresenta esta subVI.

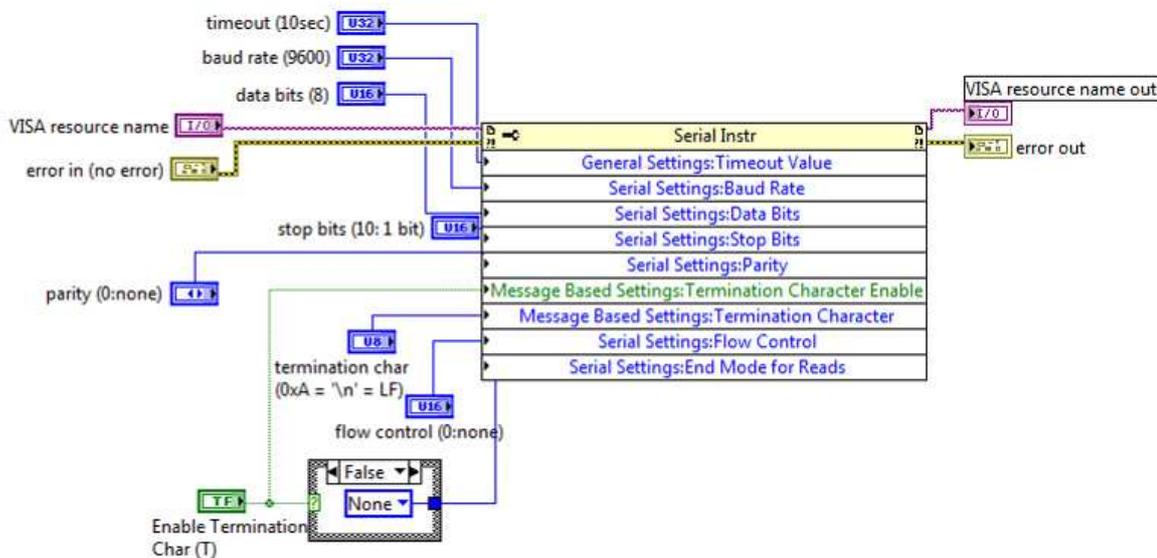
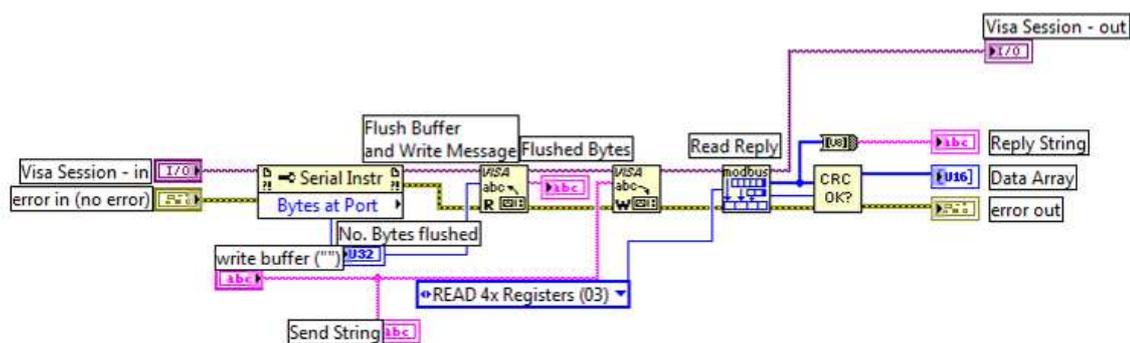


Figura 27 SubVI Configuração da porta serial.

Fonte: O autor (2011).

Para escrever e ler os dados dos registradores internos do multimetro foi adicionado ao programa a subVI Write/Read encontrada na biblioteca de exemplos do LabView. A figura 28 apresenta esta SubVI.



**Figura 28 SubVI Write/Read.**

**Fonte: O autor (2011).**

No protocolo RTU os dados são transmitidos em formato binário de oito bits, permitindo a compactação dos dados em pequenos pacotes. RTU é a sigla inglesa para Remote Terminal Unit. No modo RTU, os endereços e valores podem ser representados em formato binário. Números inteiros variando entre -32768 e 32767 podem ser representados por 2 bytes. A figura 29 mostra a subVI criada para realizar a conversão dos dados binários em decimal.

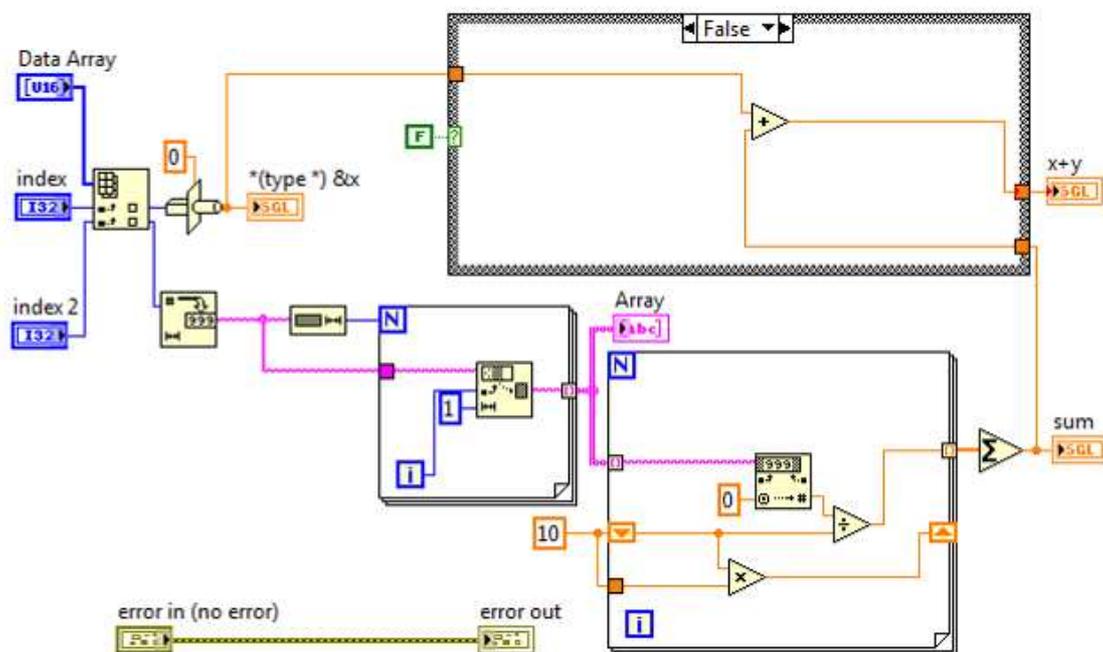


Figura 29 SubVI Conversão Binário/Decimal.

Fonte: O autor (2011).

Por fim, a junção dessas subVI's adicionado a uma pequena lógica para realização de uma média forma a SubVI\_m que faz a leitura das diversas grandezas elétricas do multimetro e as apresenta na VI principal deste programa de ensaios. A figura 30 apresenta este arranjo.



temperaturas entre 0 e 200°C. Por sua vez, o sinal de 4 a 20mA é enviado a uma entrada analógica do DAQ USB6008 que transforma este sinal analógico em uma informação digital e a transmite ao sistema de ensaios através de uma porta USB.

Relação do transdutor de Temperatura:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ à } 200^{\circ}C \\ 4 \text{ à } 20mA \end{array} \right\}$$

Substituindo na equação da reta:

$$y = a.x + b$$

$$0 = a.4.10^{-3} + b$$

$$200 = a.20.10^{-3} + b$$

Resolvendo o sistema linear por matrizes:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 200 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.10^{-3} & 1 \\ 20.10^{-3} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$$

$$a = 12500 \quad b = -50$$

Portanto:

$$y = a.x + b$$

$$y = 12500.x - 50$$

A figura 31 apresenta a SubVI\_t que baseado na equação acima determina a temperatura e gera uma média das ultimas quatro leituras para diminuir a oscilação.

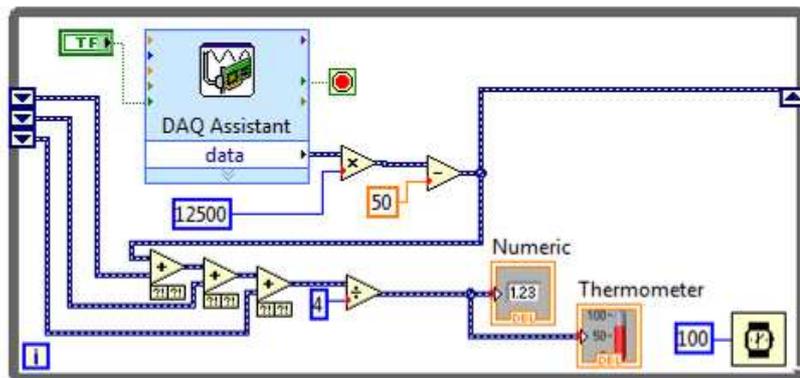


Figura 31 SubVI\_t: Medição de Temperatura.

Fonte: O autor (2011).

### 3.3.1.5 SubVI\_r: Medição da rotação

Para medição da rotação foi confeccionado e instalado um disco dentado no eixo do dinamômetro composto de 20 dentes e um sensor indutivo, conforme ilustrado na figura 12. O sensor envia estes pulsos à entrada digital rápida do DAQ USB6008 que a envia ao sistema de ensaios.

A subVI\_r foi programada para contar o número de pulsos a cada 500ms e multiplicar por uma constante (6) para fornecer a rotação em RPM. Uma média das últimas 4 leituras é realizada para diminuir a oscilação da rotação. A figura 32 apresenta este programa.

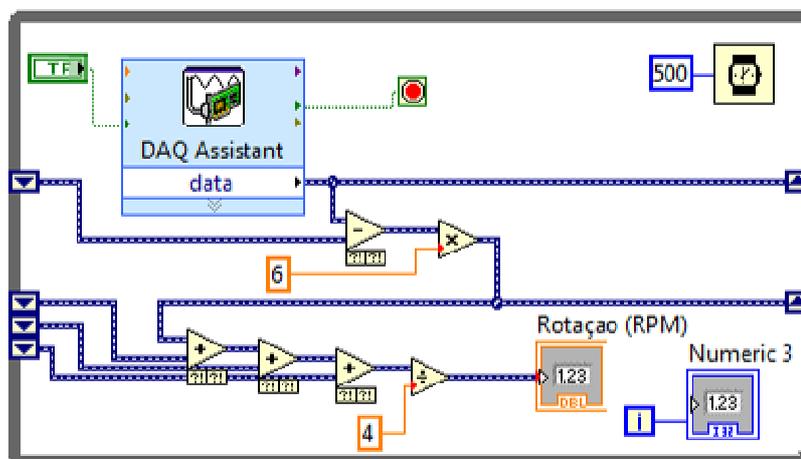


Figura 32 SubVI\_t: Medição de Rotação.

Fonte: O autor (2011).

## 3.4 RESULTADOS ALCANÇADOS

Conforme foi proposto, o objetivo principal deste trabalho foi alcançado, pois o sistema de ensaios foi concluído, embora sua implantação por completo não tenha sido efetivada. Isto se deve a uma alteração na estrutura principal da bancada, que

está sendo modificada para atender uma nova necessidade da seção de Treinamento. A bancada deverá ser apta a ensaiar tanto motores trifásicos de indução como também geradores.

Porém, com os testes realizados já se pode perceber um ganho considerável no tempo de execução de ensaio bem como na precisão dos valores, que agora são adquiridos com sincronismo, ao contrário dos ensaios realizados manualmente, onde as leituras eram realizadas em momentos diferentes ocasionando erros de medições e imprecisão nos cálculos de separação de perdas.

Vale ressaltar que a bancada tem objetivo didático e não industrial e que os equipamentos de medição utilizados são de baixo custo, portanto apresentam precisão inferior a exigida por norma para ensaios.

Os dados coletados durante os ensaios são utilizados para os cálculos de separação de perdas. A norma NBR 5383-1 trás algumas alternativas para cálculo das perdas, como método direto (nomeado de Método 1 pela norma), método indireto (método 2), máquinas duplicadas com segregação de perdas (método 3), medição da potência elétrica em carga com segregação de perdas (método 4 e 5) e pelo circuito equivalente (métodos 6 e 7).

Os resultados dos cálculos devem ser comparados com a tabela de tolerâncias (Anexo B) fornecida pela norma NBR 17094 que informa os níveis mínimos e máximos de variação dos resultados.

## 4 CONCLUSÃO

O desenvolvimento de um programa que interage com equipamentos tradicionais de leituras proporciona uma flexibilidade inerente a um ambiente programável, visto que as abordagens podem ser convenientemente modificadas, à medida que as necessidades surjam e mesmo que o programa tenha sido desenvolvido respeitando as prescrições da norma NBR 5383, seus códigos podem ser reaproveitados para a construção de um módulo que atenda as necessidades específicas, que podem ser requisitos de normas internacionais como IEC 60034-1, IEE112 (Mercado Norte-Americano) e CSA C390 (Mercado Canadense).

A utilização do programa pode propiciar uma diminuição do tempo consumido ao substituir a mão de obra humana em operações repetitivas e demoradas como a coleta e processamento de dados. Uma redução de erros também é possível graças à orientação virtual, ao tratamento de erros para dados de entradas manuais e a verificação dos dados por comparação com os limites estabelecidos pela norma.

A redução de erros também colabora para a diminuição do tempo consumido nos ensaios, pois erros podem exigir repetições desnecessárias de testes com resultados duvidosos.

A substituição de equipamentos de medidas tradicionais por sistemas virtuais de medidas apresenta benefícios do ponto de vista financeiro, metrológico e tecnológico, pois poderá proporcionar economia de tempo, um sistema transparente e fundamentado em normas, e um caminho natural para a aplicação de novas tecnologias.

## REFERÊNCIAS

COTRIM, Ademaro A. M. B. **Instalações Elétricas**, 4. ed. São Paulo: Makron Books do Brasil, 2003.

FILIPPO FILHO, Guilherme, **Motor de indução**. São Paulo: Érica, 2000.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY, JR., Charles; KUSKO, Alexandre. **Máquinas Elétricas**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1968.

KOSOW, Irving T. **Máquinas Elétricas e Transformadores**. Porto Alegre: Globo, 1970.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5383-1: Parte I: Motores de Indução Trifásicos – Ensaios**. Rio de Janeiro, 2002.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 17094-1: Parte I: Motores de Indução – Trifásicos**. Rio de Janeiro, 2008.

LIMA, F. S. **Estratégia de escalonamento de controladores pid baseado em regras fuzzy para redes industriais foundation fieldbus usando blocos padrões**. Dissertação de Mestrado . Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2004.

MAITELLI, A. L. **Controladores lógicos programáveis**. Apostila de "Controladores Lógicos Programáveis". 2003.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**, 6. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2001.

MEDIDORES KRON. **Instrumentos para medição e controle: instrumentos digitais e analógicos, transdutores digitais e analógicos, transformadores de corrente, medidores de energia, shunts**. São Paulo: Medidores Kron, 2002.

PASSOS, J.C.F, **Controlador Lógico Programável**, Editora Saber, 2002.

PUPO, M.S. **Interface Homem-Máquina para supervisão de um CLP em controle de processos**, São Carlos, Universidade de São Paulo. 2002.

SENSE ELETRÔNICA. **Catálogo geral 2010**. São Paulo: Sense, 2010.

THOMAZINI, Daniel. **Sensores industriais**. São Paulo: Érica, 2007.

VIANA, D. W. **Sistema SCADA Supervisório**. RJ: IFF. 2008.

WARNOCK, I.G. **Programmable Controllers – Operation and Application**. Prentice Hall Europe. 1997.

WEG S.A. **Catálogo geral de motores elétricos**. Jaraguá do Sul: WEG, 2008.

WEG S.A. Centro de Treinamento de Clientes. **Automação de processos industriais**: módulo 3. Jaraguá do Sul: WEG, 2007.

ARC Eletronics. **RS422 balanced differential drivers 2004**. Endereço Eletrônico: <http://www.arcelect.com/rs422.htm>. Data da consulta: 12/04/2011.

FRANCO, Lúcia Regina Horta R.. **GAI – grupo de automação e informática industrial 2006**. Endereço Eletrônico: [http://www.iee.efei.br/~gaii/rs485/hp\\_rs485.htm#RS-485](http://www.iee.efei.br/~gaii/rs485/hp_rs485.htm#RS-485). Data da consulta: 12/04/2011.

MORAES, Alan. **Supervisão a distância de um processo automatizado 2007**. Endereço Eletrônico: [http://www.instii.fr/projets/platform/Elorn/MATERIEL/ MODBUS/pag\\_01.html](http://www.instii.fr/projets/platform/Elorn/MATERIEL/ MODBUS/pag_01.html) . Data da consulta: 26/04/2011.

SILVEIRA FILHO, Elmo Dutra da. **Redes de comunicação de baixo nível (fieldbus) 2007**. Endereço Eletrônico: <http://www.malbanet.com.br/professorelmo/Conetfld.htm>. Data da consulta: 07/05/2011.

TANENBAUM, Andrew S.. **Redes de computadores**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004.

SCHNEIDER Eletronics. **Modbus Protocol 2007**. Endereço Eletrônico: <http://www.modicon.com/techpubs/toc7.html>. Data da consulta: 26/04/2011.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MÁTTAR NETO, João Augusto. **Metodologia científica na era da informática**. São Paulo: Saraiva, 2002.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muskat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3. ed. rev. e atual. Florianópolis: Laboratório de Ensino à Distância da UFSC, 2001.

## ANEXO A – TABELA 25 (NBR 17094)

Tabela 25 — Ensaio para verificação do desempenho de motores de indução

Item	Relação dos ensaios Ensaio (de/para)	Classificação do ensaio			Observações
		Rotina	Tipo	Especial	
1	Medição da resistência de isolamento	X	X		
2	Medição da resistência elétrica do enrolamento (do estator e do rotor para motores de anéis, a frio)	X	X		
3	Dielétrico	X	X		Ver Seção 11
4	Em vazio (sob tensão nominal) para determinação de:  4.1 Potência de entrada 4.2 Corrente 4.3 Sentido de rotação	X	X		Permite a determinação da soma das perdas no núcleo e das perdas por atrito e ventilação  Seqüência de fase positiva
5	Com rotor bloqueado (ver 23.2.5), para determinação de:  5.1 Corrente 5.2 Conjugado (ver 23.2.5) 5.3 Potência absorvida		X		Não aplicável a motores com rotor bobinado
6	Medição da tensão secundária	X	X		Aplicável somente a motores com rotor bobinado
7	Partida (ver 23.2.5) com levantamento das curvas características conjugado <i>versus</i> velocidade <i>versus</i> corrente velocidade, para determinação de:  7.1 Conjugado de partida, incluindo os valores dos conjugados mínimo e máximo 7.2 Corrente de partida			X	Não aplicável a motores com rotor bobinado, exceto para o conjugado máximo. Ver item 13
8	Temperatura		X		Ver Seção 9
9	Determinação do rendimento a 100 %, 75 % e 50 % da potência nominal		X		
10	Determinação das perdas a 100 %, 75 % e 50 % da potência nominal		X		
11	Determinação do fator de potência a 100 %, 75 % e 50 % da potência nominal		X		
12	Determinação do escorregamento a 100 %, 75 % e 50 % da potência nominal		X		
13	Determinação do conjugado máximo (ver 23.2.5)		X		
14	Sobrevelocidade			X	Ver Seção 16
15	Nível de ruído (potência sonora em vazio)			X	Ver ABNT NBR 7565
16	Tensão no eixo e medição da resistência de isolamento do mancal			X	Geralmente feito em motores com potência nominal $\geq 350$ kW (500 cv)

Tabela 25 (continuação)

Item	Relação dos ensaios Ensaio (de/para)	Classificação do ensaio			Observações
		Rotina	Tipo	Especial	
17	Vibração (valor eficaz máximo da velocidade de vibração em milímetros por segundo)			X	Ver ABNT NBR 11390
18	Medição da tangente do ângulo de perdas			X	Para motores com tensão nominal $\geq 5$ kV e $\leq 24$ kV e com potência nominal $\geq 5$ MW (ver EN 50209)

## ANEXO B – TABELA 26 (NBR 17094)

Tabela 26 — Tolerâncias

Item	Grandeza	Tolerância
1	Rendimento $\eta^a$ $\eta \geq 0,851$ $\eta < 0,851$	+ sem limite $-0,2 \times (1 - \eta)$ $-0,15 \times (1 - \eta)$ Valores em p.u.
2	Fator de potência, $\cos\phi$ .	$-1/6 \times (1 - \cos\phi)$ , sendo 0,02 o valor mínimo e 0,07 o valor máximo a ser utilizado.  Ex.: sendo 0,92 o fator de potencia declarado de um determinado motor: $-1/6 \times (1 - 0,92) = 0,013$ . Neste caso o valor a ser adotado é 0,02. Então: $0,92 - 0,02 = 0,90$ .  0,90 é o valor de fator de potência mínimo que o motor poderá apresentar como resultado de ensaio.
3	Escorregamento (a plena carga e à temperatura de funcionamento) de:  a) $P_n < 1$ kW b) $P_n \geq 1$ kW	  $\pm 30$ % do escorregamento garantido  $\pm 20$ % do escorregamento garantido
4	Corrente com rotor bloqueado para motores de gaiola com rotor em curto-circuito e com qualquer equipamento de partida especificado:  a) motores especificados pela categoria ou pelo correspondente valor máximo da potência aparente com rotor bloqueado (ver Seção 8) b) motores não especificados conforme a) <sup>b</sup>	  Nenhuma tolerância no limite superior, porém sem limite inferior  $+ 20$ % do valor garantido, porém sem limite inferior

Tabela 26 (continuação)

Item	Grandeza	Tolerância
5	Conjugado com rotor bloqueado para: a) motores especificados pela categoria ou pelo correspondente valor mínimo do conjugado (ver seção 8) b) motores não especificados conforme a) <sup>b</sup>	Nenhuma tolerância no limite inferior  -15 % do valor garantido  Não há limite superior, salvo acordo entre fabricante e comprador
6	Conjugado mínimo de partida para: a) motores especificados pela categoria ou pelo correspondente valor mínimo do conjugado (ver Seção 8) b) motores não especificados conforme a) <sup>b</sup>	Nenhuma tolerância no limite inferior  -15 % do valor garantido
7	Conjugado máximo para: a) motores especificados pela categoria ou pelo correspondente valor mínimo do conjugado (ver Seção 8) b) motores não especificados conforme a) <sup>b</sup>	Nenhuma tolerância no limite inferior  -10 % do valor garantido, desde que, aplicada esta tolerância, o conjugado permaneça igual ou superior a 1,6 vez ou 1,5 vez o conjugado nominal (ver Seção 13)
8	Momento de inércia	±10 % do valor garantido
<sup>a</sup> A determinação do rendimento consta na ABNT NBR 5383-1.		
<sup>b</sup> Quando for especificada a categoria e um valor garantido diferente do normalizado, a tolerância aplicada ao valor garantido não pode resultar em um valor inferior (caso dos conjugados) ou em um valor superior (caso da corrente com rotor bloqueado) ao normalizado para a categoria.		