

Faculdade de Tecnologia de Sorocaba
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SAÚDE

MODALIDADE:

Projetos, Manutenção e Operação de Aparelhos Médico-Hospitalares.

Erika Coutinho de Amorim

**Sistema de tração controlada para ensaio de
equipamentos eletromédicos móveis.**

Sorocaba / SP
Junho / 2011.

Erika Coutinho de Amorim

Sistema de tração controlada para ensaio de equipamentos eletromédicos móveis.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Saúde da Faculdade de Tecnologia de Sorocaba como parte dos requisitos para obtenção do título de Tecnólogo em Saúde.

Prof. Dr, José Luiz Antunes de Almeida
Orientador da Fatec-SO

Tecgo.MSc. Márcio Bottaro
Orientador do IEE

Sorocaba / SP
Junho / 2011.

Dedico este trabalho a todas as pessoas que de muitas formas me incentivaram e ajudaram, tornando possível a concretização de mais essa etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José Luiz Antunes de Almeida pela orientação, paciência, conhecimento e dedicação que foram extremamente importantes para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Tecg°. M.Sc. Márcio Bottaro, pela orientação e principalmente pelo apoio, conhecimento e confiança depositados em mim, os quais foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos funcionários da STEEE, Everaldo, Fernanda, Gil e Marcelo, por toda a ajuda oferecida durante a execução do trabalho.

Ao companheiro de estágio, Danilo Cabral, pela ajuda durante o desenvolvimento do trabalho e pelas boas idéias.

À instituição IEE pela oportunidade de estágio e pela confiança concedida a mim para desenvolver este trabalho.

À direção e coordenação da Faculdade de Tecnologia de Sorocaba, pelo estímulo e motivação à busca constante do saber, por uma melhor formação profissional.

Aos meus pais, Eliete e Luis Paulo, por todo o amor e confiança dedicados a mim, sempre acreditando na minha capacidade e contribuindo de forma fundamental para a minha formação pessoal.

Ao meu irmão, Luis Henrique, por fazer parte da minha vida, pelas crises de riso e pelas tardes compartilhadas que tornaram as brigas fraternais insignificantes.

A todos os meus amigos que me acompanharam durante a faculdade, compartilhando momentos de diversão e amizade, os quais jamais esquecerei. Especialmente à Dany, Marina e Flávio por estarem sempre por perto, compartilhando alegrias, dúvidas, saídas, desabafos e me aguentarem.

E a todas as pessoas que passaram pela minha vida ao longo desses anos e contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

“O sucesso nasce do querer,
da determinação e persistência
em se chegar a um objetivo.
Mesmo não atingindo o alvo,
quem busca e vence obstáculos,
no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

RESUMO

Atualmente no mercado voltado para a área da saúde existe uma gama enorme de equipamentos portáteis e móveis. Em ambientes hospitalares a facilidade em se mover um equipamento é um diferencial importante uma vez que o tempo de atendimento nesses ambientes pode ser determinante. Além disso, quando equipamentos eletromédicos são adquiridos um grande investimento é realizado, portanto, espera-se que os mesmos sejam resistentes aos manuseios diários: equipamentos que são movimentados com frequência devem manter-se íntegros, não apresentando alterações no desempenho devido a manuseio brusco ou riscos aos operadores devido a peso excessivo ou rodas inadequadas. Considerando que a certificação de equipamentos eletromédicos é compulsória, de acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), e que muitos deles apresentam versões móveis notou-se a necessidade de um dispositivo que facilitasse a realização de ensaios da série NBR IEC 60601 relacionados a esse grupo de equipamentos pela Seção Técnica de Ensaios em Equipamentos Eletromédicos (STEEE). Este trabalho apresentará as etapas realizadas durante o desenvolvimento de um sistema de tração controlada utilizado em ensaios de impacto e força de propulsão em equipamentos eletromédicos e radiológicos móveis, desde a parametrização de um inversor de frequência para controle de um motor trifásico até a calibração e validação do sistema, o tornando apto para uso nos ensaios.

Palavras chaves: Força de propulsão, Eletromédicos móveis, Ensaio de Impacto, controle motor trifásico de indução

ABSTRACT

Currently on the market focused on health there is a huge range of portable and mobile. In hospital settings the ease in moving an equipment is an important differential because the service time in these environments can be decisive. In addition, when electrical equipment is purchased a large investment is made, therefore, it is expected that they are resistant to daily handling: equipment that is moved frequently should remain intact, showing no changes in performance due to rough handling or risks to operators due to excessive weight or wheel inadequate. Whereas certification of electrical equipment is compulsory, according to the National Sanitary Regulation Agency (Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA), and many of them have mobile versions, it was noted the need for a device that would facilitate the testing of NBR IEC 60601 series related this group of equipment for the Technical Section of Tests on Medical Electrical Equipment (Seção Técnica de Ensaios em Equipamentos Eletromédicos - STEEE). This present study will present the steps undertaken during the development of a traction control system used in impact tests and propulsion power in electrical equipment and mobile imaging, since the parameterization of a frequency inverter for a three-phase motor control to the calibration and validation system, making it suitable for use in trials.

Keywords: force propulsion, medical electrical mobile, impact teste, three-phase induction motor control.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes do sistema de tração	14
Figura 2 - Primeira localização do Instituto de Eletrotécnica da USP, no Bairro do Bom Retiro	16
Figura 3 - Instituto de Eletrotécnica e Energia localizado no campus da Cidade Universitária da USP	16
Figura 4 - Tipos de motor	19
Figura 5 - Detalhes da construção do estator	20
Figura 6 - Rotor tipo gaiola	21
Figura 7 - Rotor tipo bobinado	21
Figura 8 - Irmã permanente de um servomotor	22
Figura 9 - Controle em cascata de servomotor	23
Figura 10 - Transistor bipolar de porta isolada	24
Figura 11 - Chaveamento PWM. (a) Circuito simplificado; (b) e (c) formas de onda características da modulação.	25
Figura 12 - Encoder	26
Figura 13 - Diagrama de blocos controle PID em servomotores	27
Figura 14 - Diagrama de blocos de um controlador PID	28
Figura 15 - Sistema PID no domínio do tempo.	28
Figura 16 - Sistema PID no domínio de Laplace	28
Figura 17 - Movimentos do rotor - meio passo e passo completo	31
Figura 18 - Motor de passo de relutância variável.	32
Figura 19 - Motor de passo com ímã permanente.	33
Figura 20 - Motor de passo híbrido	33
Figura 21 - Motor de passo unipolar.	34
Figura 22 - Motor de passo bipolar.	35
Figura 23 - Exemplo de ponte H.	36
Figura 24 - Esquema simplificado de um motor elétrico.	37
Figura 25 - Forma de onda - Tensão trifásica.....	40
Figura 26 - Módulo de diodos de um retificador não controlado	41
Figura 27 - Sinal de saída do retificador não controlado	41
Figura 28 - Inversor fonte de corrente.	42
Figura 29 - Sinal de saída de um inversor fonte de corrente	42
Figura 30 - Inversor fonte de tensão	43
Figura 31 - Sinais de saída de um inversor fonte de tensão.	43
Figura 32 - Circuito intermediário de tensão variável.	44
Figura 33 - Sinal de saída do circuito intermediário com tensão variável.	44
Figura 34 - Esquema do inversor presente no inversor de frequência do sistema de tração – para tensão constante.	45
Figura 35 - Variação da largura do pulso através da modulação PWM	46
Figura 36 - Célula de carga submetida a uma força de compressão (F).....	48
Figura 37 - Célula de carga submetida a uma força de tração (F) sofrendo uma alteração no comprimento (L).....	49
Figura 38 - Extensômetro.	50
Figura 39 – Ponte de Wheatstone na configuração inteira.	51
Figura 40 - Inversor de frequência Toshiba.	55

Figura 41 - DAQ da NI com as ligações para o circuito gerador de pulsos e para a o inversor de frequência.....	56
Figura 42 - Botão de rolagem como gerador de pulsos.....	57
Figura 43 - Botão de rolagem fixado a estrutura do motor	57
Figura 44 - <i>Switch</i> eletromagnético fixado na tampa da hélice do motor	58
Figura 45 - Imã que aciona o <i>switch</i> eletromagnético fixado na hélice do motor.....	58
Figura 46 - Motor e polia fixados ao chão	59
Figura 47 - Dinamômetro e célula de carga Chatillon.....	60
Figura 48 - Controle simples da tensão que chega ao inversor de frequência.....	60
Figura 49 - Configuração da comunicação serial com o dinamômetro.....	61
Figura 50 - Manipulação da tensão recebida do switch.....	61
Figura 51 - Determinação da força de propulsão	62
Figura 52 - Controle do tempo de duração da tração	63
Figura 53 - Tabela de calibração do sistema	64
Figura 54 - Tabela de calibração do sistema no <i>software</i>	64
Figura 55 - Gráficos obtidos a partir da tabela de calibração	65
Figura 56 - Aba responsável pelo ajuste do cabo e testes de calibração	68
Figura 57 - Aba responsável pela configuração do dinamômetro	69
Figura 58 - Aba para a realização do ensaio.....	70
Figura 59 - Aba que determina a força de propulsão dos equipamentos submetidos à ensaio da cláusula 9.4.2.4.2 da ABNT NBR IEC 60601 – 1; 2010.....	71

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ISO - *International Organization for Standardization* (Organização Internacional de Normatização)

EEM – Equipamento Eletromédico

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

SBCEM – Sistema Brasileiro de Certificação de Equipamentos Médicos

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

OCPs – Organismos Certificadores de Produtos

RBLE – Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaio

IEC – *International Electrotechnical Commission* (Comissão Internacional Eletrotécnica)

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

LabVIEW® – *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench* (Laboratório Virtual de Instrumentos de Bancada de Engenharia)

NI – *National Instruments*

USP – Universidade de São Paulo

IE – Instituto de Eletrotécnica

IEE – Instituto de Eletrotécnica e Energia

STEEE – Seção Técnica de Ensaios em Equipamentos Eletromédicos

IN – Instrução Normativa

CNES – Cadastro Nacional de Estabelecimento de Saúde

FEM. – Força Eletromotriz

CC – Corrente Contínua

CA – Corrente Alternada

IGBT – *Insulated Gate Bipolar Transistor* (Transistor Bipolar com Porta Isolada)

PWM – *Pulse Width Modulation* (Modulação por Largura de Pulso)

PID - Controlador Proporcional-Integral-Derivativo

SI – Sistema Internacional

LED – Diodo Emissor de Luz

DAQ – Dispositivo de Aquisição de Dados

RPM – Rotações por minuto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	HISTÓRICO DA INSTITUIÇÃO DO ESTÁGIO.....	15
1.2	JUSTIFICATIVA.....	17
1.3	OBJETIVOS.....	18
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	19
2.1	MOTORES.....	19
2.1.1	Estator.....	20
2.1.2	Rotor.....	21
2.1.3	Servomotores.....	22
2.1.3.1	Servomotores CC.....	22
2.1.3.2	Controle de servomotores.....	23
2.1.3.2.1	Transistor Bipolar com Porta Isolada (IGBT).....	23
2.1.3.2.2	Modulação por Largura de Pulso.....	24
2.1.3.3	Sensores.....	25
2.1.3.3.1	Dispositivo Tacogerador.....	26
2.1.3.3.2	Dispositivo encoder.....	26
2.1.3.4	Controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID).....	27
2.1.4	Motor de Passo.....	30
2.1.4.1	Funcionamento básico de um motor de passo.....	31
2.1.4.2	Relutância Variável.....	32
2.1.4.3	Imã permanente.....	32
2.1.4.4	Híbrido.....	33
2.1.4.5	Motores Unipolares.....	33
2.1.4.6	Motores Bipolares.....	34
2.1.4.6.1	Ponte H.....	35
2.1.4.7	Vantagens do motor de passo.....	36
2.1.4.8	Desvantagens do motor de passo.....	36
2.1.5	Motor Elétrico de Indução.....	37
2.1.5.1	Funcionamento do motor de indução trifásico.....	38
2.1.5.1.1	A Produção de Conjugado.....	38
2.2	INVERSORES DE FREQUÊNCIA.....	39
2.2.1	Retificador.....	40
2.2.1.1	Retificador Não Controlado.....	40
2.2.2	Circuito intermediário.....	42
2.2.3	O Inversor.....	44
2.2.4	Circuito de Controle.....	46
2.3	DINAMÔMETRO.....	47
2.3.1	Célula de Carga.....	48
2.3.1.2	Ponte de Wheatstone.....	51
3	METODOLOGIA.....	53
3.1	Cláusulas da série NBR IEC 60601 relacionadas aos equipamentos eletromédicos móveis.....	53
3.2	LabVIEW®.....	54
3.3	PARAMETRIZAÇÃO/CONTROLE DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA.....	54
3.4	CIRCUITO GERADOR DE PULSOS PARA MEDIDA DE VELOCIDADE.....	56
3.5	COMUNICAÇÃO DO DINAMÔMETRO.....	59
3.6	DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE.....	60

3.7 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO SISTEMA	63
4 RESULTADOS.....	68
4.1 SOFTWARE DO SISTEMA PARA A REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE TRAÇÃO	68
4.2 PROCEDIMENTO PARA A REALIZAÇÃO DO ENSAIO	71
5 DISCUSSÃO.....	73
6 CONCLUSÃO.....	75
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76

1 INTRODUÇÃO

Graças aos crescentes avanços tecnológicos, nos últimos anos houve um grande aumento no desenvolvimento de novos equipamentos na área de saúde, melhorando assim o processo de assistência ao paciente. Concomitantemente, desde o início da década de 90 observa-se no país um aumento da preocupação do governo, fabricantes e usuários com a qualidade dos produtos consumidos e serviços prestados, principalmente na área da saúde, em que a implementação de novas tecnologias e a melhoria de tecnologias antigas pode trazer riscos relacionados a diversos aspectos de sua utilização, acarretando perigo de segurança ao paciente e ao operador.

Desse modo, é clara a necessidade de programas de controle de qualidade desses equipamentos. Porém, a visão atual é a de que um processo baseado em normas de sistemas da qualidade, como a ISO 9001, não é suficiente para garantir a segurança desejada. Assim, faz-se necessária a aplicação de normas de produto, de forma a garantir, por meio de ensaios de segurança, que o produto final possua um risco aceitável para sua utilização. (SILVA, 2005)

Todo equipamento eletromédico (EEM) para ser fabricado e vendido necessita de um registro na Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), obtido por meio da sua certificação por um Organismo credenciado no contexto do Sistema Brasileiro de Certificação de Equipamentos Médicos (SBCEM).

O Organismo de credenciamento, ou acreditação como é denominado atualmente, do SBCEM é o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), que concede a Marca Nacional de Conformidade por meio dos Organismos Certificadores de Produtos (OCPs) baseados em relatórios de ensaios emitidos por laboratórios da Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaio (RBLE) (MÜHLEN, 2001).

A principal série de normas relacionada à segurança e eficiência de EEM, que serve como diretriz para a realização dos ensaios pelos laboratórios credenciados e é aceita em nível internacional é a 60601, publicada pela *International Electrotechnical Commission* (IEC), cuja versão nacional é a série ABNT NBR IEC 60601, publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Dentro dessa série de normas é possível encontrar cláusulas relacionadas a equipamentos eletromédicos móveis - cláusula 21.6 da seção quatro da ABNT NBR IEC 60601 – 1; 1994 - e equipamentos radiológicos móveis – cláusula 21.6 da seção quatro da ABNT NBR IEC 60601 – 2 – 32; 2001. Os ensaios descritos nessas cláusulas visam testar a capacidade dos EEM móveis de suportar as solicitações causadas por manuseio brusco. É

possível encontrar ainda uma cláusula relacionada à força de propulsão de EEM móveis – cláusula 9.4.2.4.2 da ABNT NBR IEC 60601 – 1; 2010.

Devido à dificuldade de se controlar manualmente a velocidade com a qual os equipamentos submetidos a ensaio são movidos e a força a qual os mesmos estão submetidos durante esse movimento, nota-se a necessidade de desenvolvimento de um sistema de fácil utilização, capaz de tracioná-los nas velocidades determinadas nas normas, facilitando a realização desses ensaios.

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de tração de equipamentos eletromédicos móveis controlado por computador por meio do software *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench* (LabVIEW®) da National Instruments (NI).

A Figura 1 mostra o esquema do sistema desenvolvido:

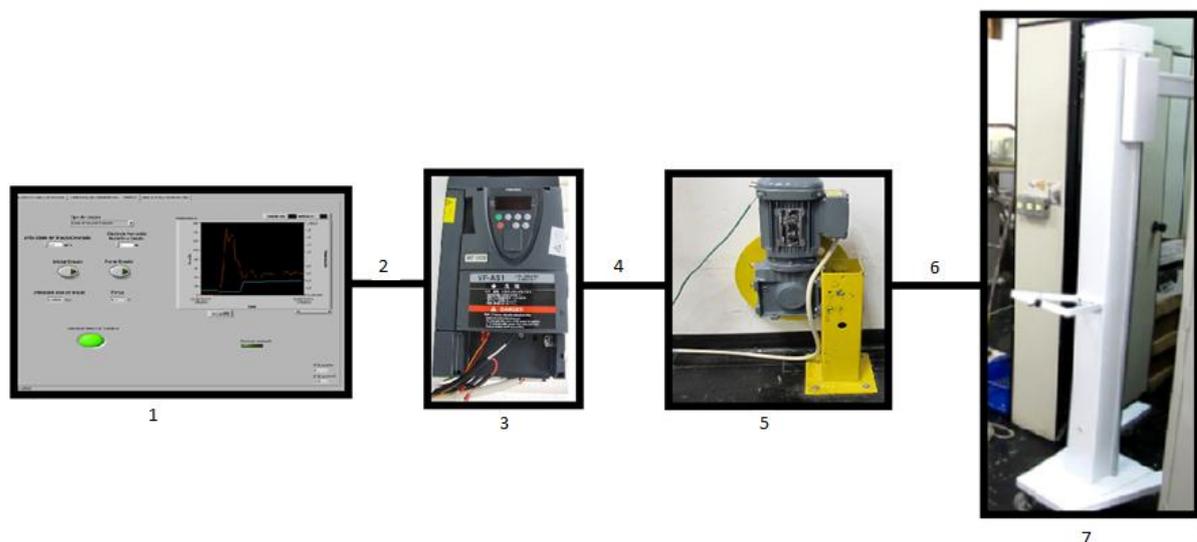


Figura 1 - Componentes do sistema de tração

Em que:

- 1) É a janela do *software* responsável por controlar o inversor de frequência e consequentemente o motor, além de monitorar a velocidade de tração do mesmo;
- 2) Corresponde a comunicação do *software* com o inversor;
- 3) É o inversor de frequência, que fornece tensão e frequência variáveis ao motor;
- 4) Corresponde a ligação do inversor com o motor;
- 5) É o motor de indução trifásico responsável por tracionar o equipamento submetido a ensaio;
- 6) Corresponde ao cabo de aço que liga o motor ao equipamento;
- 7) É o equipamento que foi tracionado durante os testes do sistema.

Durante a realização dos ensaios de força de propulsão a célula de carga, ligada ao dinamômetro, é ligada ao cabo de aço, entre o motor e o equipamento que será tracionado.

1.1 HISTÓRICO DA INSTITUIÇÃO DO ESTÁGIO

No início do século XX ocorreu no país um aumento na produção industrial nacional, dando início a um processo de industrialização, principalmente no estado de São Paulo, que teve sua primeira usina hidrelétrica construída em, 1901.

Prevendo futura demanda da sociedade paulista e nacional que começava a se modernizar foi fundada no dia 24 de agosto de 1893 a Escola Politécnica e em 1911, com o aumento da utilização de máquinas elétricas pela indústria, teve início o curso de engenharia eletromecânica que, um ano depois, permitiu a criação do Gabinete de Eletrotécnica (local onde os alunos de engenharia colocavam em prática os conceitos adquiridos nas aulas da Escola Politécnica).

Em 1926 o Gabinete é transformado no Laboratório de Máquinas e Eletrotécnica que, sob a supervisão de engenheiro Luiz Gonzaga Colângelo Nóbrega, inicia uma colaboração estreita com o setor produtivo paulista realizando ensaios em equipamentos elétricos para a indústria.

No início da década de 30 houve um aumento da produção nacional para atender às necessidades do consumo interno devido à diminuição das importações (consequência da crise dos mercados que forneciam mercadorias para o Brasil) e em meio a esse cenário de exaltação da indústria nacional o então secretário da educação Cristiano Altenfelder Silva promulgou o decreto 6.283 de janeiro de 1934 fundando a Universidade de São Paulo (USP).

Durante a Segunda Guerra Mundial (1939-1945) houve um novo impulso na produção industrial nacional e em resposta à demanda tecnológica da indústria brasileira a Universidade de São Paulo, por meio dos diretores da Escola Politécnica criou em 11 de dezembro de 1940 o Instituto de Eletrotécnica (IE).

Já na década de 50, a nação alcançou novamente grande desenvolvimento e para acompanhar o crescimento da indústria nacional o Instituto de Eletrotécnica ampliou suas instalações. Em 1952 foram inaugurados os dois pavilhões da Seção de Máquinas Elétricas, no campus da Cidade Universitário no bairro Butantã.

Em 1966 o Instituto ganhou independência da Escola Politécnica, tornando-se uma unidade autônoma dentro USP. Seus recursos, tanto humanos quanto de equipamentos, já não eram suficientes para manter a qualidade das décadas anteriores. E dessa forma, o IE não mais podia atender às exigências de ensaios elétricos das indústrias, algumas delas multinacionais, deixando de lado as atividades de pesquisa e realizando atividades de rotina para pequenas e médias empresas. Em 1986, sob a direção do Prof. Dr. Ernesto João Robba, o IE passa a se chamar Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE), revelando a

preocupação da Universidade com a delicada questão energética. Em julho de 1987 o IEE iniciaria a mudança definitiva do bairro do Bom Retiro para o campus do Butantã, processo esse que terminaria em outubro de 1988. A Figura 2 mostra a primeira localização do IEE.



Figura 2 - Primeira localização do Instituto de Eletrotécnica da USP, no Bairro do Bom Retiro

No ano de 1989 o IEE passa a ser uma das primeiras instituições do país a se conectar a Internet, graças à montagem de uma infraestrutura de redes. Durante a década de 90, nos dois mandatos do Prof. Carlos Américo Morato de Andrade, ocorre a consolidação desse processo de informatização.

A partir de 1993, a indústria elétrica passou por um intenso processo de melhoria de qualidade, em que várias empresas obtiveram Certificado de Conformidade ao Sistema de Qualidade ISO 9000. Com o objetivo de acompanhar esse processo foi então criada a comissão de qualidade do IEE, que age no sentido de incentivar tanto as seções técnicas quanto as administrativas do Instituto a se prepararem para a acreditação do sistema de qualidade. O IEE montou toda a documentação necessária e treinou seus funcionários para a obtenção da acreditação do seu sistema conforme Guia ABNT NBR ISO/IEC 17025, correspondente à ISO 9000 para laboratórios, que foi obtido no ano de 1995. (IEE, 2010). A Figura 3 mostra a atual localização do IEE, no campus da Cidade Universitária da USP.



Figura 3 - Instituto de Eletrotécnica e Energia localizado no campus da Cidade Universitária da USP
A Seção Técnica de Ensaios em Equipamentos Eletromédicos (STEEE) do IEE/USP foi o primeiro laboratório no Brasil a ser acreditado pelo INMETRO para realizar ensaios em Equipamentos Eletromédicos de acordo com as normas NBR IEC específicas para tais equipamentos. O Laboratório é responsável pela realização de ensaios de segurança em equipamentos eletromédicos para fins de certificação de produtos e registros na ANVISA, além da verificação de segurança e desempenho de equipamentos eletromédicos em hospitais.

Quando comparado a outros laboratórios de ensaios em equipamentos eletromédicos a STEEE se destaca pela sua acreditação para execução de ensaios em equipamento de raios X para diagnóstico por imagem.

A acreditação da STEEE só pode ser consolidada em função da capacitação dos profissionais responsáveis pelos ensaios, do grande parque de equipamentos, instrumentos e de dispositivos de ensaio, espaço físico específico para a realização dos ensaios que envolvem radiação ionizante entre outros requisitos estabelecidos pelo órgão acreditador.

Em função da grande demanda de ensaios realizados, a STEEE está envolvida em vários projetos em que o principal objetivo é o aumento do escopo laboratorial.

Hoje o IEE tem como missão: propiciar, incentivar e realizar a interação entre a ciência, a tecnologia e a sociedade, no âmbito da Universidade de São Paulo e nas áreas de Energia, Eletricidade e Tecnologia em Saúde.

1.2 JUSTIFICATIVA

O Ministério da Saúde, através da Portaria 2.043 de 12/12/94, tornou compulsória a certificação dos equipamentos eletromédicos. As regras específicas do sistema de certificação foram definidas na portaria nº 2.663 de 22/12/95, reeditada em 06/09/2010 com o nº 350.

Com o objetivo de comprovar o atendimento dos requisitos essenciais de segurança pelos equipamentos elétricos sob regime da Vigilância Sanitária foi criada em 8 de julho de 2009 a Instrução Normativa (IN) número 8, que estabelece uma lista das normas técnicas que devem ser atendidas para certificação de conformidade, no âmbito do Sistema Brasileiro de Avaliação de Conformidade (SBAC), desses equipamentos. Entre as normas listadas na IN 8 encontra-se a série NBR-IEC 60601. Dessa forma, a certificação dos equipamentos eletromédicos se dá a partir da adaptação dos mesmos à esse série de normas, relacionadas à segurança elétrica, mecânica e de radiação. O equipamento que as satisfaz é considerado seguro para o operador e paciente.

Tanto na norma geral quanto na norma particular para equipamentos radiológicos existem cláusulas voltadas a ensaios em equipamentos móveis. Atualmente é possível encontrar no mercado versões móveis de um grande número de EEM e entre eles destacam-se os equipamentos de radiologia diagnóstica. Segundo a última atualização do Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES), realizada em fevereiro de 2011, existem no Brasil 549 clínicas e centros diagnósticos que contam com serviços de radiologia, além de milhares de hospitais com o mesmo serviço. Ainda de acordo com o CNES existem 19134 equipamentos de radiologia odontológica em uso somente na região Sudeste.

Tendo em vista a grande demanda desses equipamentos e a dificuldade de realização desse tipo de ensaio manualmente fez-se necessário o desenvolvimento do sistema de tração controlada apresentado neste trabalho.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho é o desenvolvimento de um sistema de tração controlada com medição de força de propulsão de equipamentos eletromédicos móveis para a realização de ensaios baseados na norma geral ABNT NBR IEC 60601 – 1 e na norma particular NBR IEC 60601 – 2 – 32; 2001.

O presente trabalho teve como objetivos específicos:

- Controle do inversor de frequência por meio de um *software* desenvolvido no LabVIEW®;
- Aquisição de dados referentes a velocidade de tração e força de propulsão dos equipamentos submetidos à ensaio por meio do *software*;
- Calibração e validação do sistema;
- Implementação do sistema em ensaios de EEM móveis.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Neste capítulo serão abordados conceitos necessários para o desenvolvimento do sistema que facilitarão o entendimento do trabalho.

2.1 MOTORES

Os motores elétricos podem ser divididos em diversos tipos, como mostra a Figura 4.

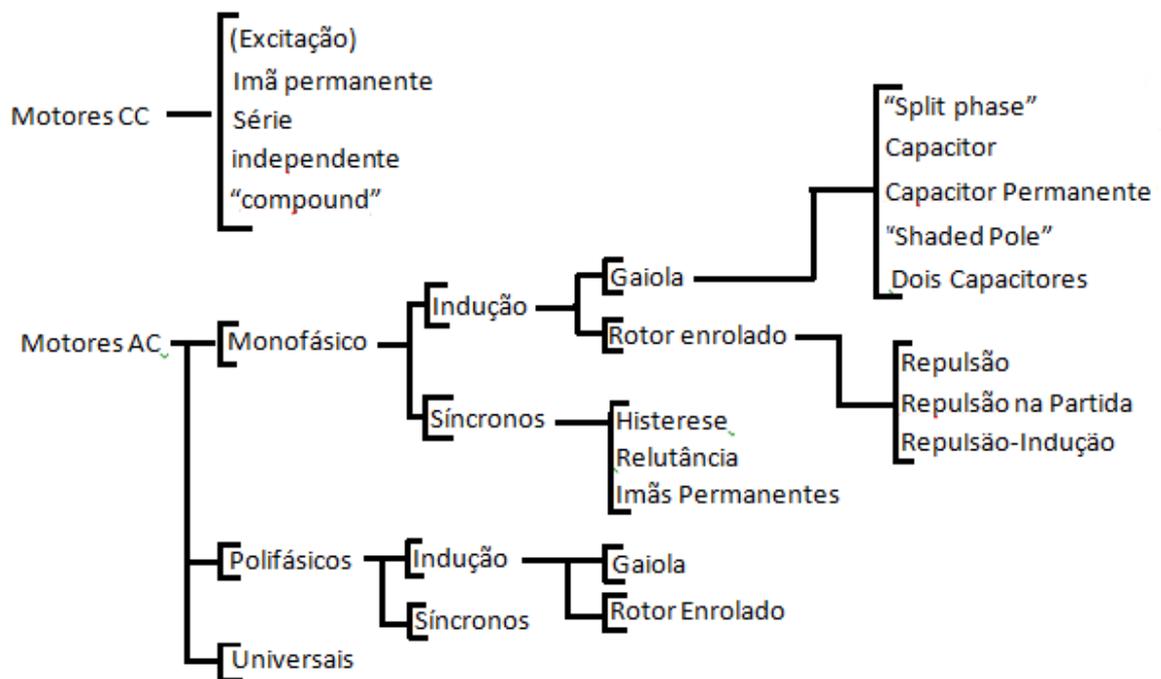


Figura 4 - Tipos de motor

Entre os diversos tipos de motores existentes é possível destacar alguns devido a sua maior utilização, como os motores de passo, os servomotores e os trifásicos de indução

Basicamente os motores são constituídos das seguintes partes fundamentais:

- Estator
- Rotor
- Carcaça (estrutura suporte do conjunto; de construção robusta em ferro fundido, em aço ou em alumínio injetado).

Adicionalmente a essas partes fundamentais o motor possui alguns componentes adicionais, os quais poderão variar em função do tipo do mesmo.

2.1.1 Estator

Estator é a parte do motor que se mantém fixa à carcaça e tem por função conduzir a energia elétrica. Nos motores assíncronos é nele que, assim como nas bobinas, é formado o campo magnético capaz de induzir uma corrente ao rotor.

Chapas de aço-silício (Ferro + impurezas de 2 a 4% de Silício) justapostas de pequena espessura (tipicamente de 0,25 a 0,6 mm) e que apresentam baixas perdas no ferro fazem parte da sua composição. Em motores de baixo custo essas laminações são muitas vezes fabricadas com aço convencional de baixo teor de carbono (aço 1006 ou 1008), acarretando um nível mais elevado de perdas e conseqüentemente um rendimento menor do motor. (VARELLA)



Figura 5 - Detalhes da construção do estator

As chapas do estator (Figura 5) possuem ranhuras para alojar os fios condutores, fabricadas na maioria das vezes de cobre, nas bobinas ou enrolamentos do estator e na sua face externa observa-se a existência de aletas para melhor dissipação do calor.

2.1.2 Rotor

O rotor é constituído por um núcleo ferromagnético, também laminado (sendo que essas lâminas encontram-se isoladas entre si), sobre o qual ficam os enrolamentos (rotores bobinados) ou um conjunto de condutores paralelos (rotores do tipo gaiola de esquilo curto-circuitada) que são barras de alumínio dispostas paralelamente entre si e unidas nas extremidades por dois anéis condutores (também em alumínio) que curto-circuitam os condutores. Tanto o enrolamento quanto a gaiola de esquilo permitem a circulação de correntes induzidas provocadas pela corrente alternada que passa pelas bobinas do estator (VARELLA). O rotor é apoiado num eixo que tem como função transmitir à carga a energia mecânica produzida. As figuras abaixo apresentam exemplos de rotores.



Figura 6 - - Rotor tipo gaiola

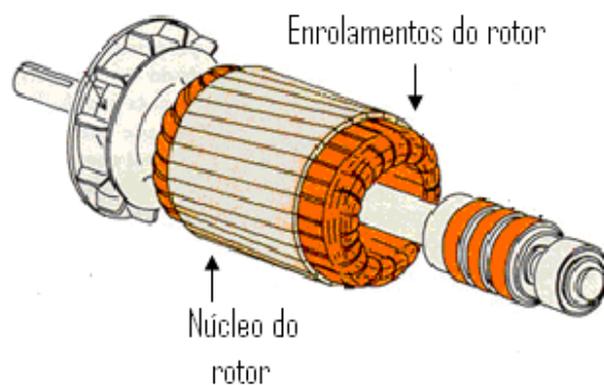


Figura 7 - Rotor tipo bobinado

2.1.3 Servomotores

Servomotores são sistemas de motores elétricos com a propriedade adicional de controle de posição, velocidade e força através da tensão, da corrente ou da frequência, dependendo da sua estrutura. Basicamente são motores que devem trabalhar sobre a ação de algum mecanismo de servo posicionamento, que exigem precisão no posicionamento e um alto grau de repetibilidade. Em razão disto, possuem sempre um mecanismo de realimentação da sua posição, em geral usa-se um gerador de pulsos (encoder) ou gerador de sinal senoidal (resolver). Os servomotores podem ser classificados em: CC (corrente contínua) e CA (corrente alternada) (TORRES, 2004).

O campo nos servomotores não é gerado por uma bobina, e sim por um ímã permanente (Figura 8). Por isso o campo magnético é constante para qualquer nível de corrente de armadura. Quando comparado a outros motores CC o servomotor apresenta uma resposta linear.

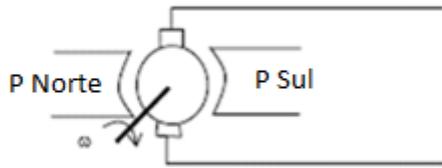


Figura 8 - Ímã permanente de um servomotor

2.1.3.1 Servomotores CC

São basicamente motores de CC, sendo que o estator é do tipo ímã permanente, utilizando de ímãs de terras raras, estes ímãs tem a adição de elementos da série dos lantanídeos para potencializar seu desempenho. Pode-se controlar o torque e a velocidade deste motor através da corrente de armadura (MENDONÇA).

O servomotor CC é um motor de corrente com elevada dinâmica, ou seja, seu projeto é feito de forma tal que a interação do fluxo proporcione torque relativamente constante ao longo de uma grande faixa de velocidade e rápida resposta.

O sentido do giro é dado pela polaridade da corrente do motor.

2.1.3.2 Controle de servomotores

Os servomotores podem ser controlados tendo como referência torque, velocidade ou posição, conforme a Figura 9.

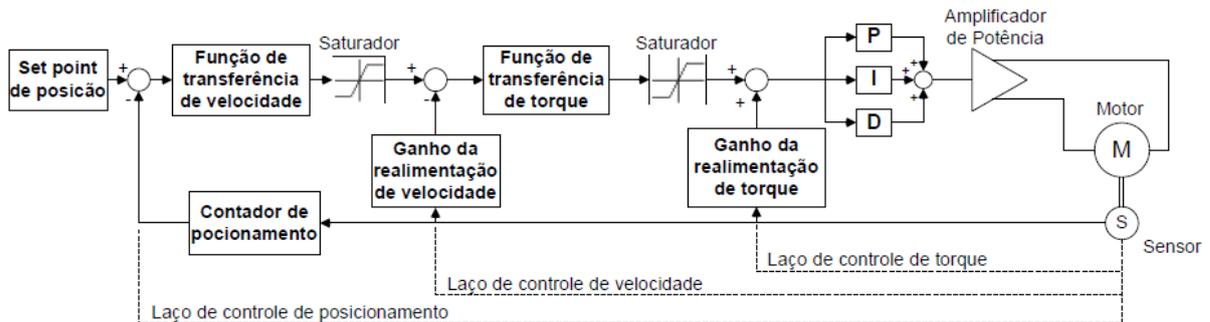


Figura 9 - Controle em cascata de servomotor

O controle aplicado é em regime cascata, onde um parâmetro gera a referência para o próximo. A sequência tem início com a posição, a posição gera referência para a velocidade que por sua vez gera a referência do torque. Cada bloco – posição, velocidade e torque – tem a sua própria realimentação, o que torna o controle refinado e preciso, reduzindo atrasos em correções. O sinal enviado ao servomotor ocorre pelo chaveamento dos transistores IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) comandados por modulação de largura de pulso (PWM) resultante dos cálculos do projeto do controlador (ZUCATELLI, 2007).

Alguns servomotores disponíveis no mercado vêm com um sistema de modulação que limita a ação do usuário, permitindo apenas a entrada da posição angular desejada e o sentido de giro por meio do chaveamento dos transistores realizados por controle do tipo PWM. Estes circuitos apenas sintetizam o diagrama de blocos de um servomotor convencional. São necessários vários elementos para traduzir os diagramas de blocos para a realidade. Controladores, atuadores, entradas de sinal, elementos de potência, sensores e medidores devem ser corretamente escolhidos para obter o melhor desempenho de todo o sistema. Para poder integrá-los de forma harmônica, é preciso conhecer suas características para atender as exigências do sistema a ser aplicado (ZUCATELLI, 2007).

2.1.3.2.1 Transistor Bipolar com Porta Isolada (IGBT)

Desde a invenção do primeiro diodo controlado de silício com junção PNPN, em 1957, houve um grande avanço nos dispositivos semicondutores de potência.

Para serem aplicados em sistemas de elevada potência e substituírem as rudimentares válvulas, os dispositivos semicondutores devem ser capazes de suportar grandes correntes e elevadas tensões reversas em seu chaveamento.

Além disso, em várias aplicações de eletrônica de potência, há necessidade de uma operação em elevadas frequências de chaveamento dos dispositivos semicondutores, necessários para a construção de filtros ativos de potência. Dessa forma, os dispositivos semicondutores devem possuir baixas perdas de potência durante o chaveamento. A partir de 1970, vários tipos de dispositivos semicondutores de potência foram desenvolvidos e se tornaram disponíveis comercialmente. Incluem-se nestes dispositivos os IGBT's (*Insulated Gate Bipolar Transistor*). Reunindo as características de comutação dos transistores bipolares de potência e elevada impedância de entrada, o IGBT se torna cada vez mais popular nos circuitos de controle de potência de uso industrial e até mesmo em eletrônica de consumo e embarcada (SOARES). A Figura 10 mostra os terminais de um IGBT.

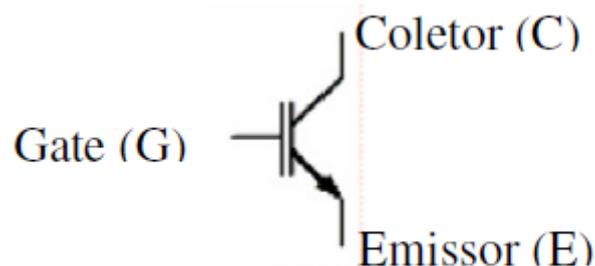


Figura 10 - Transistor bipolar de porta isolada

2.1.3.2.2 Modulação por Largura de Pulso

O acionamento de motores CC pode ser feito através da variação contínua da tensão aplicada ao motor. As técnicas de PWM usadas atualmente diminuem as perdas de energia e reduzem o aquecimento dos componentes do acionador, permitindo a redução de seu custo e tamanho. O PWM consiste num método de controle chaveado de tensão em frequências.

É comum o chaveamento ser realizado por transistores. No circuito, o sinal PWM é aplicado à base (B) do transistor. Quando uma tensão positiva adequada é aplicada em (B) com relação ao emissor (E), o transistor satura comportando-se como uma chave fechada fazendo com que a tensão de alimentação (VCC) seja aplicada ao motor. De maneira contrária, se a tensão na base com relação ao emissor é zero, então o transistor é cortado comportando-se como uma chave aberta e nenhuma tensão é aplicada ao motor (ZUCATELLI, 2007). A tensão média do motor é mostrada Eq. 1.

$$V_m = V_{cc} \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \quad \dots(1)$$

Em que:

V_m é a tensão aplicada ao motor.

V_{cc} é a fonte de energia.

T_{on} é o tempo em que a chave fica ligada.

T_{off} é o tempo em que a chave fica desligada.

A Figura 11 mostra o chaveamento PWM e suas formas de onda.

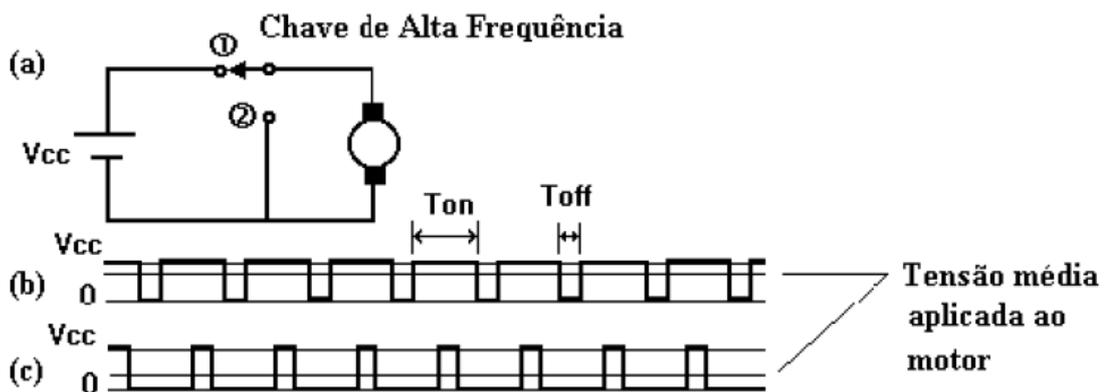


Figura 11 - Chaveamento PWM. (a) Circuito simplificado; (b) e (c) formas de onda características da modulação.

2.1.3.3 Sensores

Para a realização da realimentação do sistema em malha fechada, o sensoriamento da variável desejada e/ou de alguma outra correlacionada que possa ser interpretada e usada pelo controlador é fundamental. A escolha dos sensores deve ser feita de maneira cuidadosa visando atender as necessidades do sistema.

2.1.3.3.1 Dispositivo Tacogerador

Ele é um pequeno gerador elétrico de CC, com campo fornecido por imã. A tensão gerada, pela Lei de Faraday é proporcional a velocidade com que o fluxo magnético é cortado pelo enrolamento do rotor.

Pode-se definir o tacogerador como um transdutor mecânico elétrico linear.

$$V = Kn \quad \dots(2)$$

Em que:

K é uma constante que depende do campo do imã, do número de espiras e pólos e das dimensões do rotor.

n é a rotação do eixo por minuto (RPM), ou por segundo (RPS).

A tensão (V) é o produto das constantes e da rotação e sua polaridade depende do sentido de rotação. A tensão então será diretamente proporcional à rotação do eixo, o que simplifica os cálculos para encontrar a velocidade angular - ω .

2.1.3.3.2 Dispositivo encoder

O encoder é um sensor de pulsos e consiste, basicamente, de um disco perfurado em um sistema de componentes opto-eletrônicos, a luz emitida de um lado do disco passará pelos furos, conforme mostra a Figura 12.

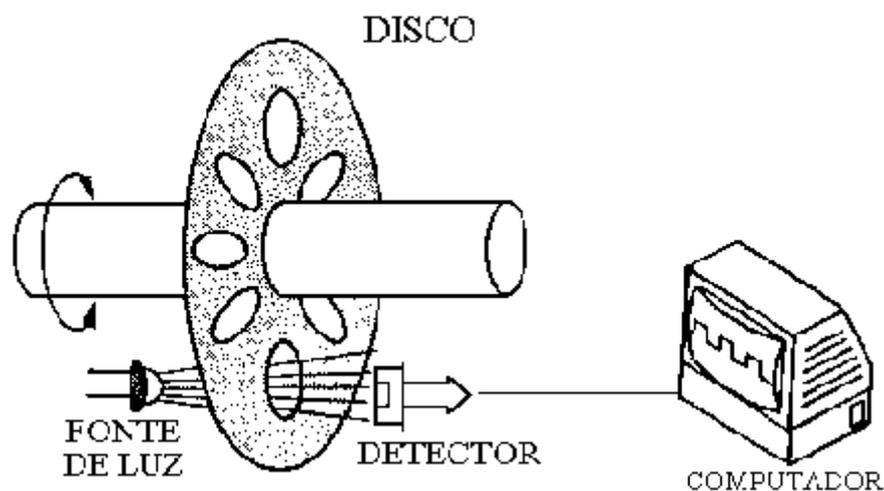


Figura 12 - Encoder

O disco está preso a um eixo ou motor, de forma a criar um movimento rotacional, enquanto que a fonte de luz e o receptor estão fixos. A rotação do disco cria uma série de pulsos pela interrupção ou não da luz emitida ao detector. Estes pulsos de luz são transformados pelo detector em uma série de pulsos elétricos. A frequência do pulso é diretamente proporcional ao número de rotações no intervalo de tempo, e ao número de furos ao longo do disco. O encoder fornece deslocamento e a direção do mesmo. Os encoders dividem-se em absolutos e incrementais.

Encoders incrementais são mais simples, necessitam serem referenciados pois diferentes posições enviam o mesmo sinal, sendo sua diferenciação dada pela contagem de pulsos (ZUCATELLI, 2007).

Encoders absolutos são mais caros, porém não precisam ser referenciados. Cada posição fornece uma informação única, portanto é possível saber a localização do mecanismo sem ter que referenciá-lo a cada vez que é ligado (ZUCATELLI, 2007).

2.1.3.4 Controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID)

O controlador PID (Proporcional, Integral e Derivativo) é o controlador mais conhecido de uso industrial e o mais utilizado em controles de servomotor. O controlador PID sobreviveu às mudanças tecnológicas da era analógica para a era de controle digital computadorizado satisfatoriamente. A Figura 13 mostra o diagrama de blocos típico de um controlador PID para servomotores.

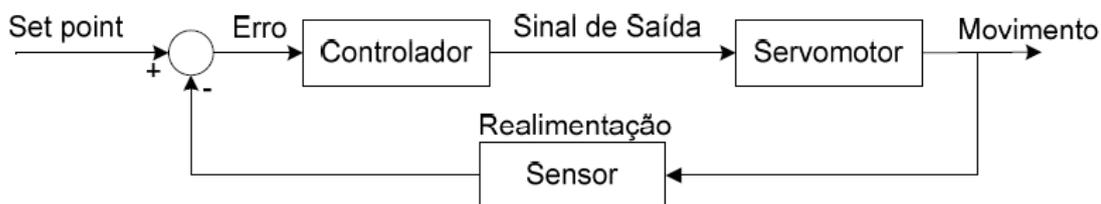


Figura 13 - Diagrama de blocos controle PID em servomotores

Apesar de novas técnicas de controle de processo, o algoritmo de controle mais utilizado industrialmente é o PID, apesar de existir a mais de meio século, e apresenta as seguintes vantagens:

- Não requer conhecimento profundo da planta e nem um controle matemático do processo, embora seja útil no projeto do sistema de controle;

- Apresenta algoritmo universal baseado na filosofia por realimentação, sendo versátil e robusto. Se as condições do processo mudam a re-sintonia do controlador usualmente produz controle satisfatório (ZUCATELLI, 2007).

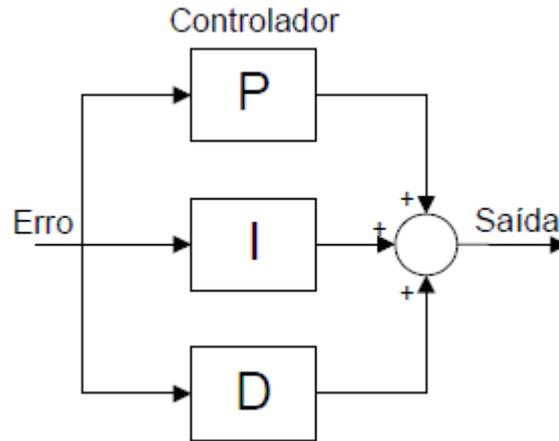


Figura 14 - Diagrama de blocos de um controlador PID

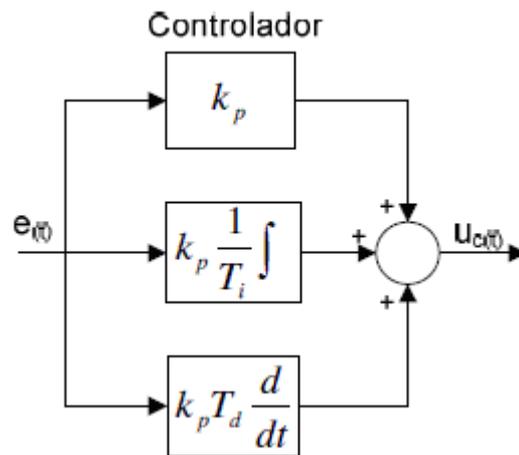


Figura 15 - Sistema PID no domínio do tempo.

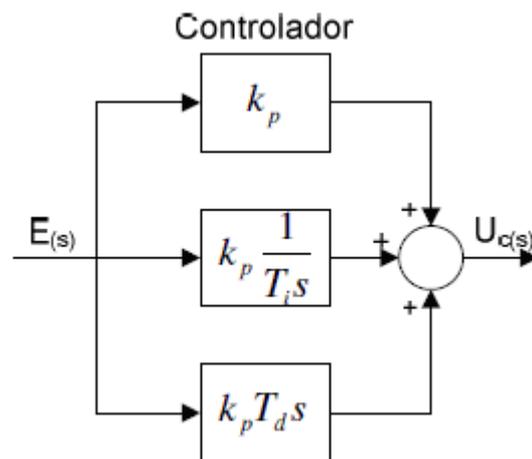


Figura 16 - - Sistema PID no domínio de Laplace

A Figura 13 mostra o diagrama de blocos de um controlador PID. Já a Figura 15 mostra o sistema no domínio do tempo, em que:

$E_{(t)}$ = erro em função do tempo

$U_{c(t)}$ = sinal de saída em função do tempo

K_p = ganho proporcional

T_i = tempo integral

T_d = tempo derivativo

Na Figura 16 é apresentado o sistema no domínio de Laplace, onde:

$E_{(s)}$ = erro em função de s

$U_{c(s)}$ = sinal de saída em função de s

k_p = ganho proporcional

T_i = tempo integral

T_d = tempo derivativo

A combinação das ações proporcional, integral e derivativa gerando um único sinal de controle dá origem ao controlador proporcional-integral-derivativo (PID), que tem como objetivo aproveitar as características particulares de cada uma destas ações a fim de se obter uma melhora significativa do comportamento transitório e em regime permanente do sistema controlado. O sinal de controle gerado pelo controlador PID pode ser genericamente dado como mostra a Eq. 2 (sinal de controle no domínio do tempo) e a Eq. 3 (sinal de controle no domínio de Laplace).

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$$

...(2)

$$U(s) = K_p \left[E(s) + \frac{1}{T_i} \frac{E(s)}{s} + T_d s E(s) \right]$$

$$U(s) = K_p E(s) \left[1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right]$$

...(3)

Considerando as equações acima nota-se a existência de três parâmetros de sintonia no controlador: o ganho proporcional K_p (ação proporcional), o tempo integral T_i (ação integral) e o tempo derivativo T_d (ação derivativa). Apesar da existência das três ações básicas, dependendo da aplicação não será necessário utilizar uma ou mais destas ações. Basicamente há quatro configurações possíveis de controladores a partir da estrutura PID, como mostra a Tabela 1.

Modo	K_p	T_i	T_d
P	$K_p > 0$	$T_i = \infty$	$T_d = 0$
PI	$K_p > 0$	$T_i < \infty$	$T_d = 0$
PD	$K_p > 0$	$T_i = \infty$	$T_d > 0$
PID	$K_p > 0$	$T_i < \infty$	$T_d > 0$

Tabela 1 - K_p , T_i e T_d combinadas para gerar as ações P, I e D

2.1.4 Motor de Passo

Motores de passo são dispositivos eletromecânicos que convertem pulsos elétricos em movimentos mecânicos que geram variações angulares discretas. Quando pulsos elétricos são aplicados em uma determinada sequência nos terminais do motor de passo o seu rotor, ou eixo, é rotacionado em pequenos incrementos angulares, denominados “passos”.

A rotação desses motores é diretamente relacionada aos impulsos elétricos que são recebidos, bem como a sequência a qual tais pulsos são aplicados reflete diretamente na direção a qual o motor gira. A velocidade que o rotor gira é dada pela frequência de pulsos recebidos e o tamanho do ângulo rotacionado é determinado pelo número de pulsos aplicados (BRITES, 2008).

Sua utilização é muito conveniente quando há necessidade de movimentos precisos. Motores de passo podem ser utilizados em aplicações em que vários fatores devem ser controlados, como ângulo de rotação, velocidade, posição e sincronismo. O grande diferencial desse tipo de motor é a possibilidade de controlar movimentos de forma precisa.

2.1.4.1 Funcionamento básico de um motor de passo

Um exemplo simples de como funcionam os motores de passo pode ser dado utilizando o motor de quatro passos. Seu funcionamento é dado pelo uso de solenóides alinhados dois a dois que quando energizados atraem o motor, fazendo-o alinhar-se com o eixo determinado pelos solenóides, causando assim uma pequena variação de ângulo que é chamada passo. A velocidade e o sentido do movimento são determinados pela forma como cada solenóide é ativado (sua ordem e o intervalo de tempo entre cada ativação).

O que determina o número de passos que o motor é capaz de realizar é o número de alinhamentos possíveis entre o rotor e as bobinas. Para aumentar o número de passos de um motor usa-se um maior número de bobinas, maior número de pólos no rotor.

A energização de somente uma bobina da cada vez produz um pequeno deslocamento no rotor. Esse deslocamento ocorre devido ao fato de o motor ser magneticamente ativo e a energização das bobinas criar um campo magnético intenso que atua no sentido de se alinhar com os dentes do rotor (BRITES, 2008).

Dependendo da polarização das bobinas é possível movimentar o rotor entre as bobinas (meio passo ou *half step*) ou alinhado com as mesmas (passo completo ou *full step*), conforme mostra a Figura 17.

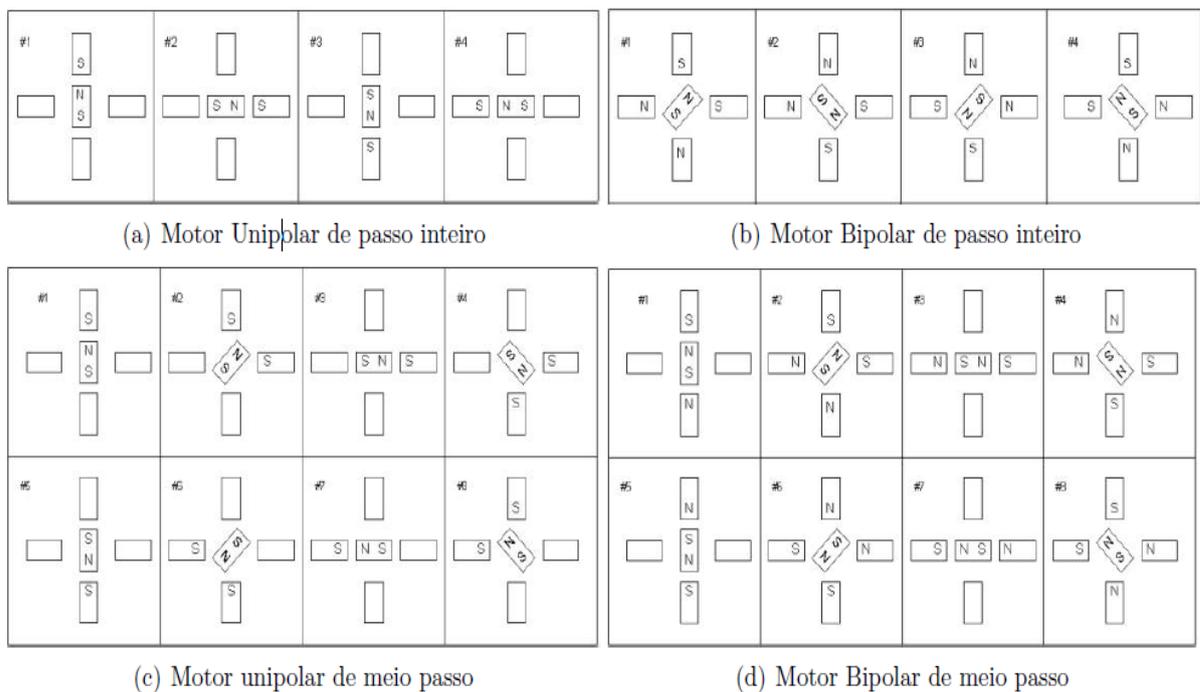


Figura 17 - Movimentos do rotor - meio passo e passo completo.

Os motores de passo podem ser divididos quanto a sua estrutura ou quanto a sua forma de operação, conforme mostra a Tabela 2.

<i>Divisão quanto a estrutura</i>	<i>Divisão quanto a forma de operação</i>
Relutância Variável	Motores Unipolares
Ímã Permanente	Motores Bipolares
Híbrido	

Tabela 2 - Divisão dos motores de passo

2.1.4.2 Relutância Variável

Esse tipo de motor consiste de um rotor de ferro, com múltiplos dentes e um estator com enrolamentos. Quando os enrolamentos do estator são energizados com corrente contínua (DC) os pólos ficam energizados. A rotação ocorre quando os dentes do estator são atraídos para os pólos do estator energizado, devido à força que aparece, para que o sistema tenha o circuito com menor relutância (BRITES, 2008).

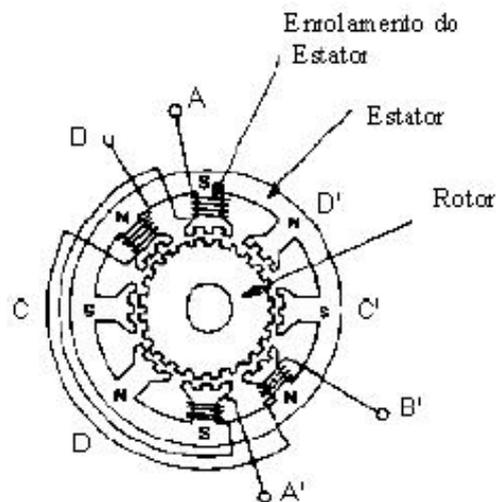


Figura 18 - Motor de passo de relutância variável.

2.1.4.3 Ímã permanente

Motores de ímã permanente têm baixo custo e baixa resolução, com passos típicos de 7,5° a 15° (48 – 24 passos/revolução). O rotor é construído com ímãs permanentes e não possui dentes. Os pólos magnetizados do rotor provêm uma maior intensidade de fluxo magnético e por isso o motor de ímã permanente exibe uma melhor característica de torque, quando comparado ao de relutância variável (BRITES, 2008).

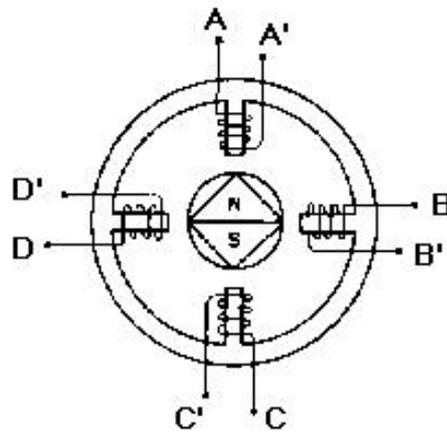


Figura 19 - Motor de passo com ímã permanente.

2.1.4.4 Híbrido

O motor de passo híbrido é mais caro do que o de ímã permanente, mas provê melhor desempenho com respeito à resolução de passo, torque e velocidade. Ângulos de passo típico de motores híbridos estão entre $3,6^\circ$ e $0,9^\circ$ (100-400 passos por volta). O motor híbrido combina as melhores características dos motores de ímã permanente e motor de relutância variável. O rotor é multi-dentado como no motor de relutância variável e contém um ímã permanente ao redor do eixo (BRITES, 2008).

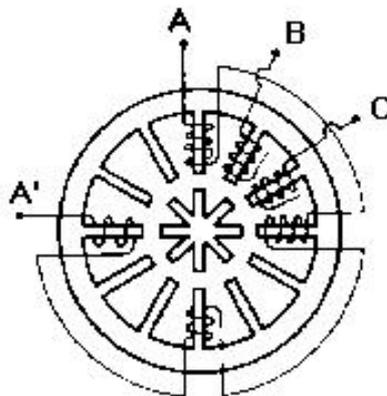


Figura 20 - Motor de passo híbrido

2.1.4.5 Motores Unipolares

Um motor de passo unipolar tem dois enrolamentos por fase, um para cada sentido da corrente. Desde que nesse arranjo um pólo magnético possa ser invertido sem comutar o

sentido da corrente, o circuito da comutação pode ser feito de forma muito simples (por exemplo, um único transistor) para cada enrolamento. Tipicamente, dada uma fase, um terminal de cada enrolamento é feito como terra: dando três ligações por fase e seis ligações para um motor bifásico típico. Frequentemente, esses terras comuns bifásicos são juntados internamente, assim o motor tem somente cinco ligações (BRITES, 2008).

A resistência entre o fio comum e o fio de excitação da bobina é sempre metade do que entre os fios de excitação da bobina. Isso é, devido ao fato de que há realmente duas vezes o comprimento da bobina entre as extremidades e somente meio comprimento do centro (o fio comum) à extremidade. Os motores de passo unipolares com seis ou oito fios podem ser conduzidos usando excitadores bipolares deixando os terras comuns da fase desconectados, e conduzindo os dois enrolamentos de cada fase juntos. Ainda é possível usar uma excitação bipolar para conduzir somente um enrolamento de cada fase, deixando a metade dos enrolamentos não utilizada.

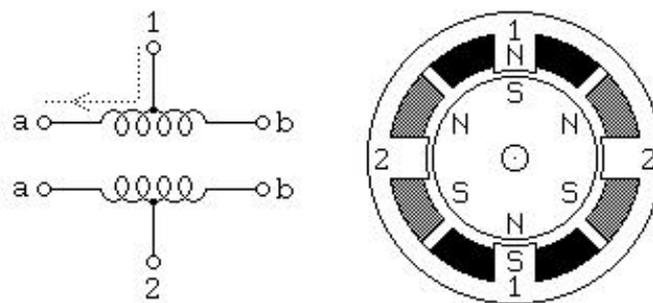


Figura 21 - Motor de passo unipolar.

2.1.4.6 Motores Bipolares

Os motores bipolares têm um único enrolamento por fase. A corrente em um enrolamento precisa ser invertida a fim de inverter um pólo magnético, assim o circuito de condução é um pouco mais complicado, usando um arranjo de ponte H. Há duas ligações por fase, nenhuma está em comum. Os efeitos de estática da fricção que usam uma ponte são observados em determinadas topologias de movimentação. Como os enrolamentos são mais bem utilizados, são mais poderosos do que um motor unipolar de mesmo peso.

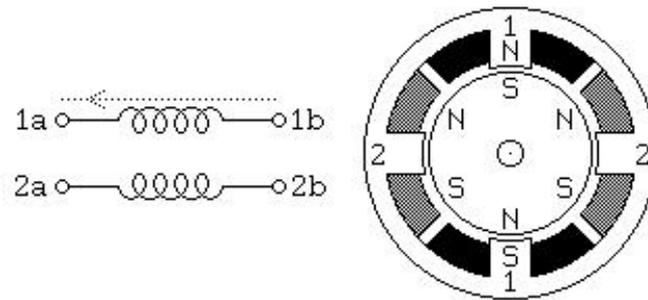


Figura 22 - Motor de passo bipolar.

2.1.4.6.1 Ponte H

Ponte H é um circuito eletrônico que permite que um motor rode tanto para um sentido quanto para o outro. Estes circuitos são geralmente utilizados em robótica e estão disponíveis em circuitos prontos ou podem ser construídos por componentes. O nome ponte H é dado pela forma que assume o circuito quando montado. O circuito é construído com quatro chaves (S1-S4) que são acionadas de forma alternada (S1 e S4 ou S2 e S3). Para cada configuração das chaves o motor gira em um sentido. As chaves S1 e S2 assim como as chaves S3 e S4 não podem ser ligadas ao mesmo tempo, pois podem gerar um curto circuito (BRITES, 2008).

Para construção da ponte H pode ser utilizado qualquer tipo de componente que simule uma chave liga-desliga como transistores, relés, mosfets. Para garantir a proteção do circuito aconselha-se a configuração de portas lógicas com componentes 7408 e 7406 a fim de que não ocorram as situações de curto circuito descritas acima. A colocação de diodos entre as chaves permite uma economia de energia, pois quando a corrente não tem por onde circular, no caso do motor parar, ela volta para a fonte de alimentação. A Figura 23 mostra um exemplo de ponte H.

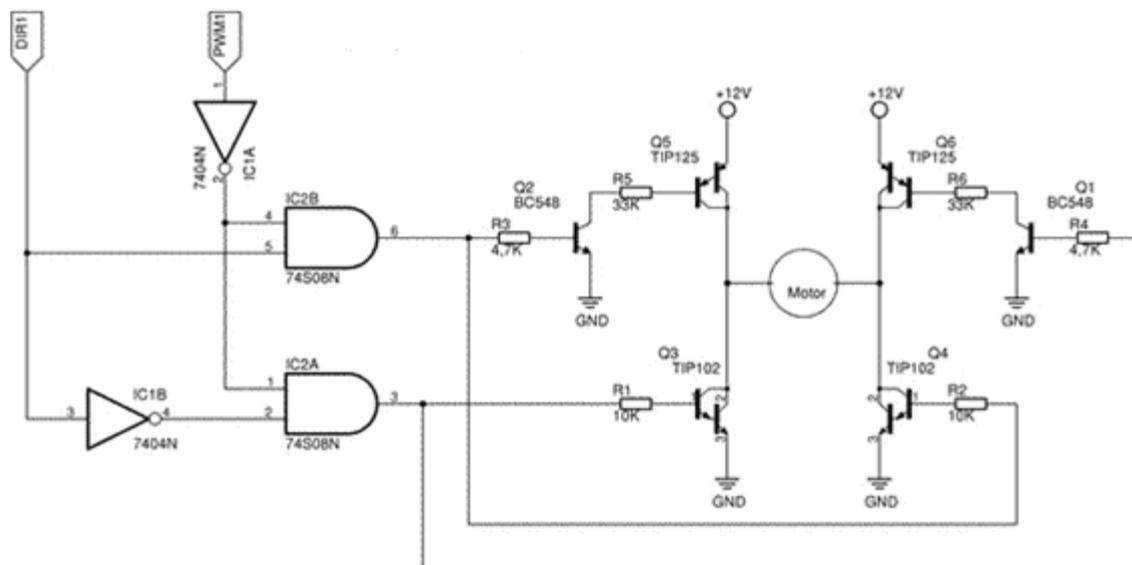


Figura 23 - Exemplo de ponte H.

2.1.4.7 Vantagens do motor de passo

Seguem uma lógica digital – como seu acionamento é feito por meio de pulsos elétricos que ativam sequencialmente suas bobinas, fazendo o rotor se alinhar com as mesmas e assim provocando um deslocamento do mesmo diz-se que o motor de passo segue uma lógica digital.

Alta precisão de posicionamento – o posicionamento do motor de passo é preciso uma vez que o rotor sempre se movimentará em ângulos bem determinados, cujo erro de posicionamento é pequeno e não-cumulativo (em geral 5%).

Precisão no torque aplicado – as variações no torque aplicado por um motor de passo são pequenas, tendo em vista seu funcionamento.

Excelente resposta a aceleração e desaceleração – o movimento que um motor de passo produz é resultado das ativações em sequência de suas bobinas. A resposta para tais solicitações de aceleração e desaceleração é rápida pois o rotor alinha-se rapidamente com as bobinas que se encontram energizadas.

2.1.4.8 Desvantagens do motor de passo

Baixo desempenho em altas velocidades – o aumento de rotações no motor de passo (sua aceleração) é gerado pela variação no tempo entre o acionamento de uma bobina e a seguinte. Entretanto é necessário um rápido chaveamento de um solenóide energizado para outro de forma que tal velocidade seja mantida, o que muitas vezes é complexo e pouco eficiente.

Requer certo grau de complexidade para ser operado – pelo fato de usar uma lógica digital não basta apenas ligar o motor de passo a uma fonte de energia que o mesmo começará a girar sem parar. Sua complexidade reside no fato de ser necessário um aparato para controlá-lo ativando sequencialmente seus solenóides. O “custo computacional” e a complexidade do dispositivo de controle cresce a medida que o número de passos aumenta, uma vez que mais passos requerem um maior número de terminais (fios) a serem ativados e controlados.

Ocorrência de ressonância - Caso as revoluções do motor de passo se dêem na mesma frequência que a frequência de ressonância, o motor pode começar a oscilar, aquecer e perder passos. Esse problema pode ser contornado mudando-se o modo de operação do motor: utilizando-se meio-passo ou passo-completo com as bobinas energizadas duas a duas.

2.1.5 Motor Elétrico de Indução

É comum no acionamento de cargas mecânicas a utilização de motores elétricos: máquinas com rendimento elétrico elevado, capazes de promover a transformação da energia elétrica em energia mecânica com mínimas perdas.

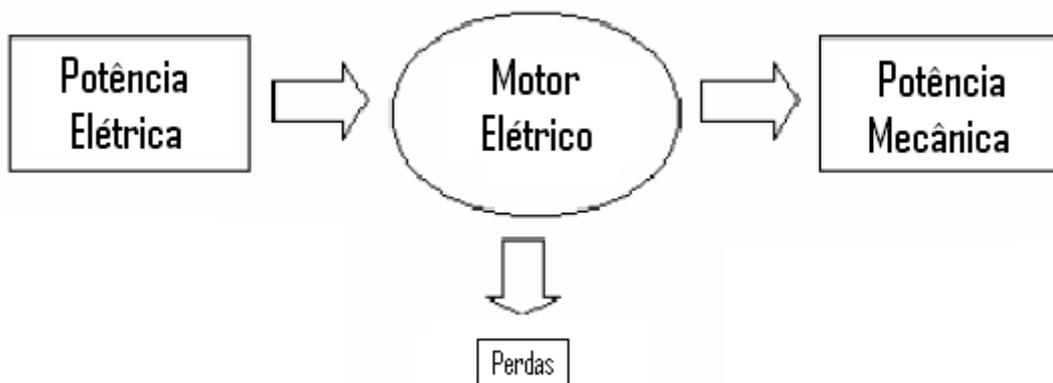


Figura 24 - Esquema simplificado de um motor elétrico.

Entre os diversos tipos de motores elétricos pode-se destacar o motor de indução trifásico pelo seu princípio de funcionamento simples, construção robusta e pequena necessidade de manutenção. Além desses fatores, o progresso tecnológico permitiu o desenvolvimento de métodos de controle que, além de economizar energia, contribuem para aumentar ainda mais suas aplicações.

2.1.5.1 Funcionamento do motor de indução trifásico

A partir do momento que os enrolamentos localizados nas ranhuras do estator são sujeitos a alimentação através de uma corrente alternada trifásica, gera-se um campo magnético no estator, e, conseqüentemente, no rotor surge uma força eletromotriz (fem.) induzida devido ao fluxo magnético variável que atravessa o rotor.

A fem. induzida dá origem a uma corrente induzida no rotor que tende a se opor à causa que lhe deu origem, (Lei de Faraday e Lei de Lenz) criando assim um movimento giratório no rotor.

Assim, por efeito transformador, o campo girante produzido pelos enrolamentos do estator induz correntes no rotor que, estando curto circuitado produz um campo eletromagnético ao seu redor, esse campo é atraído pelo campo girante do estator, dessa interação de ambos os campos magnéticos será produzido o conjugado que levará a máquina à rotação, ou seja, a potência mecânica traduz-se, basicamente, no conjugado que o motor gera no eixo do rotor. O conjugado é conseqüência direta do efeito originado pela indução magnética do estator em interação com a do rotor (SENAI).

2.1.5.1.1 A Produção de Conjugado

O campo girante roda numa velocidade sincronizada com a corrente alternada (CA) da rede. Por outro lado, a freqüência da corrente que é induzida no rotor resulta da diferença de duas freqüências:

- Da freqüência da CA que alimenta o estator;
- Da freqüência relativa à velocidade de giro do rotor.

Sendo assim, a corrente induzida no rotor possui uma freqüência que é a diferença das freqüências angulares do campo girante e do rotor (TORRES, 2004).

Para melhor entendimento pode-se usar como exemplo uma partida do motor no instante inicial com a máquina ainda parada, a freqüência da corrente induzida no rotor é máxima (60 Hz sendo essa a freqüência da CA de alimentação);

Enquanto o rotor acelera a freqüência da corrente induzida vai-se reduzindo até chegar a uns poucos Hz, no momento em que a máquina atingir a plena rotação de regime.

É importante lembrar que se o rotor girasse na mesma velocidade do campo girante, não haveria corrente induzida, pois a diferença entre as freqüências resultaria em 0 Hz, ou seja, não haveria variação de fluxo pelas espiras do rotor que fizesse surgir fem. induzida. Não havendo corrente, também não haverá conjugado (DIAS, 2006).

Daí o nome motor assíncrono: a velocidade mecânica não é sincronizada com a frequência da rede de alimentação CA, pois mesmo em regime estável, ainda haverá uma pequena diferença entre as grandezas.

2.2 INVERSORES DE FREQUÊNCIA

O acionamento de motores elétricos em velocidade variável vem tornando-se mais fácil e mais barato graças ao uso da eletrônica de potência. Graças aos inversores de frequência (também chamados de conversores de frequência) sistemas que antes usavam motores de corrente contínua (CC), pela facilidade de controle, atualmente podem usar motores de corrente alternada (CA) de indução que, entre outras aplicações, podem substituir, com vantagens, os sistemas de controle de fluxo com válvulas ou dampers.

Além disso, o uso de inversores de frequência oferece uma redução dos custos de manutenção, pois realiza o acionamento do motor de forma suave e sem trancos, reduzindo assim a quebra de elementos de transmissão como correntes e rodas dentadas, ocorrências frequentes em montagens com motores de partida direta.

Desde o início de sua utilização até os dias atuais os conversores de frequência passaram por uma série de mudanças, várias delas graças ao desenvolvimento da tecnologia dos microprocessadores e semicondutores (DREHER, 2008). Para o melhor entendimento do seu funcionamento os conversores de frequência podem ser divididos em quatro principais componentes:

- O retificador que é conectado a uma fonte de alimentação externa (mono ou trifásica) e gera uma tensão contínua pulsante. Basicamente existem dois tipos de retificadores – os controlados e os não controlados.
- O circuito intermediário, que pode ser de três tipos:
 - pode converter a tensão do retificador em corrente contínua;
 - pode estabilizar ou alisar a tensão contínua e colocá-la a disposição do inversor;
 - ou pode ainda converter a tensão contínua do retificador em uma tensão alternada variável
- O inversor que é responsável por gerar a tensão e a frequência para o motor.
- E o circuito de controle, que tem como objetivo transmitir e receber sinais do retificador, do circuito intermediário e do inversor.

2.2.1 Retificador

Para compreender a função do retificador é necessário lembrar que o inversor de freqüência utilizado no desenvolvimento do presente trabalho é alimentado por uma tensão alternada trifásica, em que as três fases estão deslocadas no tempo, conforme a Figura 25.

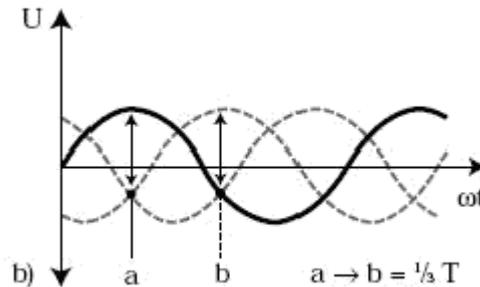


Figura 25 - Forma de onda - Tensão trifásica

O retificador pode ser não controlado (composto apenas por diodos), controlado (composto por tiristores ou transistores) ou semi-controlado (composto por ambos componentes). O inversor de freqüência utilizado no desenvolvimento do trabalho possui um retificador não controlado.

2.2.1.1 Retificador Não Controlado

Esse tipo de retificador é composto basicamente por diodos – componentes semicondutores que permitem a passagem da corrente em apenas uma direção: do anodo (A) para o catodo (K) – conforme mostra a Figura 26. Durante o seu uso não é possível controlar a intensidade da corrente, ao contrário do que ocorre com outros semicondutores.

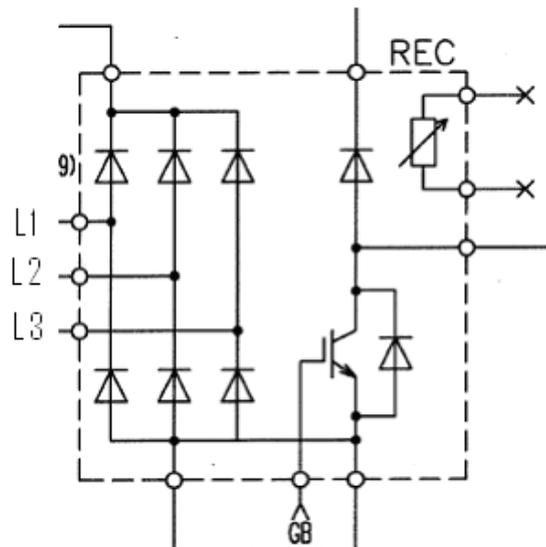


Figura 26 - Módulo de diodos de um retificador não controlado

Os retificadores trifásicos distribuem a corrente entre as 3 fases, evitando desequilíbrios que poderiam ocorrer caso a corrente fosse consumida de apenas 1 ou 2 fases. Dessa forma a corrente é fornecida em intervalos de 60 graus, por 2 das 3 fases de alimentação. As fases habilitadas para conduzir serão as que tiverem, em módulo, as 2 maiores tensões: a fase que for mais positiva levará o diodo a ela conectado (na semi-ponte superior) à condução e na semi-ponte inferior o diodo que conduzirá será o que estiver conectado à fase com tensão mais negativa (pela fase com tensão intermediária não haverá corrente) (DREHER, 2008). A Figura 27 mostra o sinal na saída do retificador não controlado.

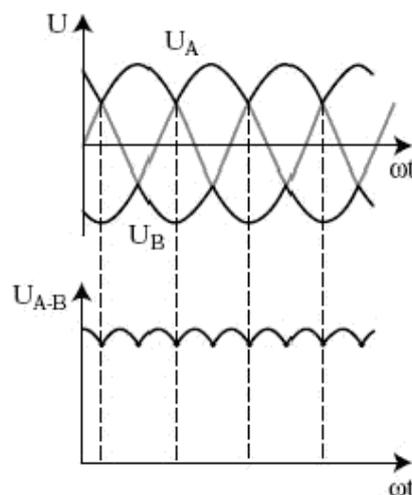


Figura 27 - Sinal de saída do retificador não controlado.

2.2.2 Circuito intermediário

O circuito intermediário atua como um reservatório do inversor, do qual o motor pode drenar energia. Dependendo do tipo de retificador e inversor que constituem o inversor de frequência o circuito intermediário pode fornecer energia de três formas:

- Inversores fonte de corrente – nessa configuração o circuito intermediário é constituído de um grande indutor e seu uso necessita de um retificador controlado. A tensão variável que chega do retificador é transformada em uma corrente contínua variável e a amplitude da tensão que chega ao motor é determinada pela carga.



Figura 28 - Inversor fonte de corrente.

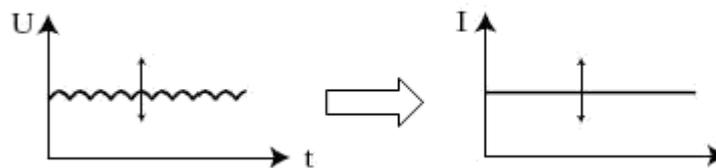


Figura 29 - Sinal de saída de um inversor fonte de corrente

- Inversores fonte de tensão – nessa configuração o circuito intermediário consiste em um filtro capacitivo e pode operar com ambos os tipos de retificadores. A função do filtro é alisar a tensão pulsante fornecida pelo retificador. Num retificador controlado, a tensão é constante numa dada frequência e fornecida ao inversor como uma tensão contínua pura com amplitude variável. Com retificadores não controlados, a tensão na entrada do conversor é uma tensão CC com amplitude constante (DREHER, 2008).

O inversor utilizado no projeto possui um retificador não controlado ligado a um banco de capacitores que garante que a tensão que chega ao inversor seja contínua em aproximadamente 535VCC, quando a tensão de alimentação é de 380V.

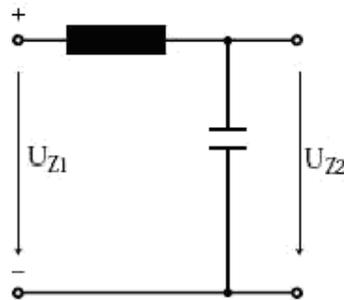


Figura 30 - Inversor fonte de tensão

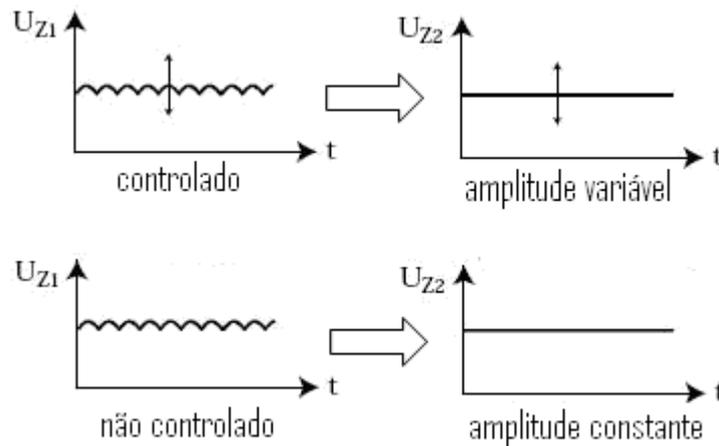


Figura 31 - Sinais de saída de um inversor fonte de tensão.

- Circuito intermediário com tensão CC variável - nessa configuração um filtro é instalado entre a saída do retificador e a entrada do inversor e um chopper é inserido na frente do filtro.

A tensão do retificador pode ser ligada ou desligada por meio de um transistor presente no chopper, o circuito de controle fica responsável por regular o chopper pela comparação da tensão variável depois do filtro com um sinal de entrada. Se existir diferença a relação é regulada por meio do tempo que o transistor conduz e o tempo que ele é cortado.

Quando a corrente é interrompida pelo transistor do chopper, a bobina do filtro faz com que a tensão sobre o transistor cresça significativamente. Visando a proteção do chopper nessa situação o uso de um diodo de roda-livre se faz necessário.

O chopper fornece uma tensão quadrada que é alisada pelo filtro do circuito intermediário e chega ao inversor como uma tensão constante para uma dada frequência.

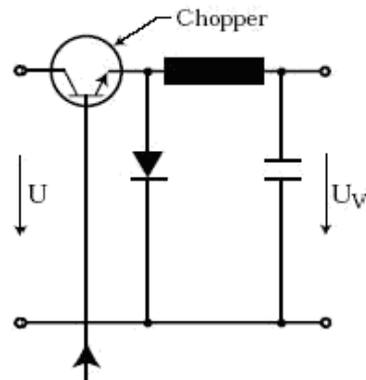


Figura 32 - Circuito intermediário de tensão variável.

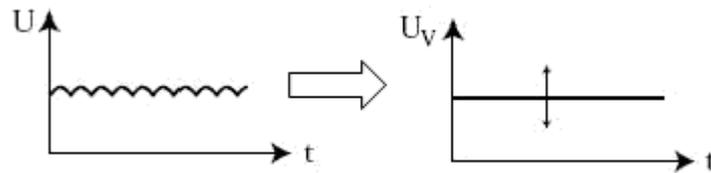


Figura 33 - Sinal de saída do circuito intermediário com tensão variável.

2.2.3 O Inversor

O inversor é o ponto final de adaptação da tensão de saída para o motor. Como já foi dito, do circuito intermediário é possível obter:

- Uma corrente contínua variável;
- Uma tensão contínua variável;
- Uma tensão contínua constante.

A função do inversor é assegurar que, independente da variável obtida do conversor, a saída para o motor seja variável. A frequência para o motor é gerada no inversor: se a corrente ou a tensão são variáveis, o inversor gera apenas a frequência; se a tensão é constante o inversor gera a tensão e a frequência (DREHER, 2008).

Os semicondutores responsáveis pelo funcionamento do inversor de frequência são ligados e desligados por sinais gerados pelo circuito de controle. Existem diversas formas de controle desses sinais, sendo que a de interesse para o trabalho desenvolvido é a PWM, que será abordada a seguir

Inversores tradicionais são constituídos por seis diodos, seis transistores e seis capacitores. A Figura 34 mostra o esquema do inversor que constitui o inversor de frequência utilizado no sistema desenvolvido.

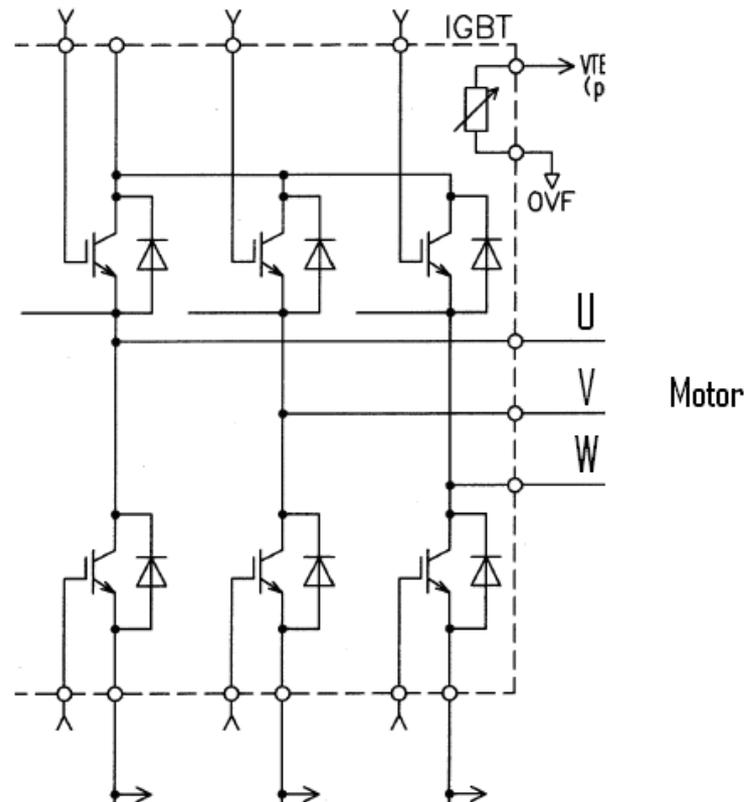


Figura 34 - Esquema do inversor presente no inversor de frequência do sistema de tração – para tensão constante.

A função dos capacitores é habilitar os transistores a chavearem, garantindo que a corrente esteja defasada 120° elétricos nas bobinas no motor. Um campo girante intermitente com a frequência desejada é produzido quando os terminais do motor são excitados com corrente: U-V, V-W, W-U, U-V. Esse processo gera uma corrente quase quadrada para o motor, porém a tensão é quase senoidal. Vale ressaltar que sempre existem picos de tensão quando a corrente é chaveada.

Os diodos têm a função de isolar os capacitores da corrente de carga do motor.

O circuito de controle chaveia os semicondutores, utilizando-se das mais diversas técnicas de modulação, mudando assim a frequência de saída do inversor. Como o retificador do inversor de frequência utilizado no projeto fornece tensão constante, a técnica de modulação utilizada consiste em aplicar essa tensão ao motor por períodos mais longos ou mais curtos. A frequência por sua vez é alterada pela variação dos pulsos de tensão ao longo do eixo do tempo: positivamente para meio período e negativamente para outro meio período (DREHER, 2008).

Essa técnica é chamada PWM, pois realiza mudanças na largura dos pulsos de tensão, nela o circuito de controle determina os tempos de chaveamento dos

semicondutores pela intersecção entre uma tensão triangular e uma tensão senoidal superposta.

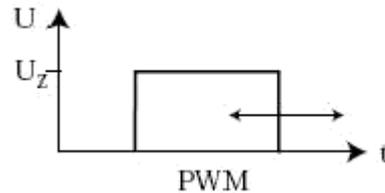


Figura 35 - Variação da largura do pulso através da modulação PWM

A modulação PWM apresenta algumas vantagens sobre os outros tipos de modulação:

- Boa eficiência – a eficiência de trabalho alcançada pelo inversor ultrapassa 90% à velocidade e carga plenas.
- Fator de potência – o uso do retificador de diodos produz um bom fator de potência na faixa de velocidade e operação plena do inversor.
- By-pass – em caso de falha do inversor o motor pode ser operado diretamente na linha de entrada em operação contínua.
- Cargas de alta inércia – para evitar sobrecargas causadas pela aceleração de cargas de alta inércia em algumas aplicações o inversor pode adaptar a sua operação.
- Manutenção – O inversor pode ser testado e operado sem estar conectado ao motor
- Operação com vários motores – mais de um motor pode ser operado a partir de um único inversor. Além disso, o inversor não é sensível à alteração da combinação dos motores operados, desde que a corrente de carga total não exceda a corrente nominal do inversor.

2.2.4 Circuito de Controle

O circuito de controle (também conhecido como placa de controle) possui quatro tarefas essenciais:

- Controlar os semicondutores do conversor de frequência.
- Troca de dados entre o conversor de frequência e os periféricos.
- Verificar e reportar mensagens de falha.
- Cuidar das funções de proteção do conversor de frequência e do motor.

Os avanços ocorridos na área dos microprocessadores têm aumentado sua capacidade de processamento e velocidade, aumentando significativamente o número de aplicações possíveis aos inversores de frequência e reduzindo o número de cálculos necessário para a sua aplicação.

2.3 DINAMÔMETRO

Dinamômetro é o instrumento usado para a medição de forças mecânicas. Existem diversos tipos de dinamômetros, dos quais se destacam pela sua importância e aplicação: dinamômetro de Bekk, dinamômetro de mola, dinamômetro hidráulico e dinamômetros que utilizam células de carga

O dinamômetro de Bekk consiste num aparelho utilizado para a determinação da resistência dinâmica do papel, isto é, a resistência que o papel opõe à rotura por efeito de pancadas ou golpes.

No dinamômetro de mola (também designado por balança de mola), o mais simples dos dinamômetros, uma força é medida pelo alongamento produzido numa mola elástica helicoidal. Esta mola encontra-se unida a um cursor que indica, sobre uma escala graduada, o alongamento provocado pela força, o qual é diretamente proporcional à força desde que a mola não se encontre demasiadamente esticada (PEREIRA, 1999)

Este dispositivo é por vezes usado para medir o peso de um corpo e no o Sistema Internacional de Unidades (SI), este tipo dinamômetro encontra-se graduado em newtons (N). Um dinamômetro parado, graduado em newtons, indica o valor de 9,8 N para peso de um corpo cuja massa é de 1 kg. De facto, pela lei da Atração Universal, verifica-se que um corpo com massa 1 kg pesa na Terra 9,8 N.

Num dinamômetro hidráulico, a força é transmitida a um êmbolo que desliza dentro de um cilindro cheio de óleo, comunicando-lhe uma pressão proporcional à força aplicada, sendo a leitura realizada em um manómetro.

Os dinamômetros que utilizam células de carga são responsáveis por processar a saída na forma de tensão das células em uma informação relevante ao operador – a força a qual a célula está submetida, em newtons (PEREIRA, 1999).

O dinamômetro utilizado no sistema desenvolvido no presente trabalho utiliza uma célula de carga para a realização das medidas.

2.3.1 Célula de Carga

Células de carga são dispositivos eletromecânicos capazes de medir a deformação ou flexão de um corpo e transformá-la em uma saída, na forma de tensão (microvolts), que é alterada proporcionalmente à medida que uma carga é aplicada em sua estrutura física.

O princípio de funcionamento das células de carga baseia-se na variação da resistência ôhmica de um sensor denominado extensômetro ou strain gage, quando submetido a uma deformação. Utiliza-se comumente em células de carga quatro extensômetros ligados entre si segundo a ponte de Wheatstone e o desbalanceamento da mesma, em virtude da deformação dos extensômetros, é proporcional à força que a provoca. É através da medição deste desbalanceamento que se obtém o valor da força aplicada (CARRER).

Os extensômetros são colados a uma peça metálica (alumínio, aço ou liga cobre-berílio), denominada corpo da célula de carga e inteiramente solidários a sua deformação. A força atua portanto sobre o corpo da célula de carga e a sua deformação é transmitida aos extensômetros, que por sua vez medirão a sua intensidade. A forma e as características do corpo da célula de carga devem ser objeto de um meticuloso cuidado, tanto no seu projeto quanto na sua execução, visando assegurar que a sua relação de proporcionalidade entre a intensidade da força atuante e a conseqüente deformação dos extensômetros seja preservada tanto no ciclo inicial de medida quanto nos ciclos subseqüentes, independentemente das condições ambientais. A forma geométrica, portanto, deve conduzir a uma “linearidade” dos resultados (CARRER). Na Figura 36 é possível ver uma célula de carga sob a ação de uma força de compressão, enquanto na Figura 37 a mesma sofre a ação de uma força de tração.

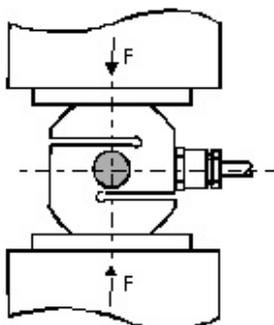


Figura 36 - Célula de carga submetida a uma força de compressão (F)

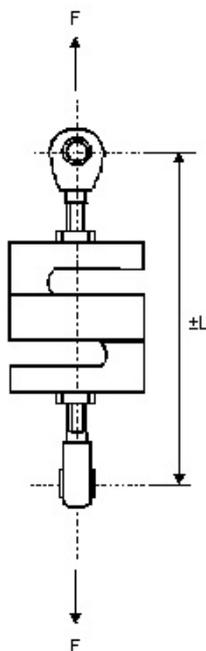


Figura 37 - Célula de carga submetida a uma força de tração (F) sofrendo uma alteração no comprimento (L)

Considerando-se que a temperatura gera deformações em corpos sólidos e que estas poderiam ser confundidas com a provocada pela ação da força a ser medida, há necessidade de se “compensar” os efeitos de temperatura através da introdução no circuito de Wheatstone de resistências especiais que variem com o calor de forma inversa aos extensômetros.

Um efeito normalmente presente ao ciclo de medida e que deve ser controlado com a escolha conveniente da liga da matéria-prima da célula de carga é o da “histerese” decorrente de trocas térmicas com o ambiente da energia elástica gerada pela deformação, o que acarreta que as medições de cargas sucessivas não coincidam com as descargas respectivas.

Outro efeito que também deve ser controlado é a “repetibilidade”, ou seja, indicação de mesma deformação decorrente da aplicação da mesma carga sucessivamente, também deve ser verificada e controlada através do uso de materiais isotrópicos e da correta aplicação da força sobre a célula de carga.

Finalmente, deve-se considerar o fenômeno da “fluência” ou creep, que consiste na variação da deformação ao longo do tempo após a aplicação da carga. Este efeito decorre de escorregamentos entre as faces da estrutura cristalina do material e apresenta-se como variações aparentes na intensidade da força sem que haja incrementos na mesma.

2.3.1.1 Extensômetro (strain gage)

O extensômetro de resistência elétrica (também chamado strain gage) é um resistor elétrico composto de uma grade metálica sobre uma cama isolante de substrato de polímero. Este é colado sobre uma estrutura de teste sensível a variação de sua resistência em função de uma carga aplicada, podendo-se então estudá-la, medindo e verificando o comportamento de sua estrutura (ANDOLFATO, 2009).

O extensômetro realiza a medição em duas direções. A direção principal é a melhor escolha a ser feita, pois possui a maior sensibilidade, ao contrário da direção secundária que é dada pelo coeficiente de Poisson (ν).

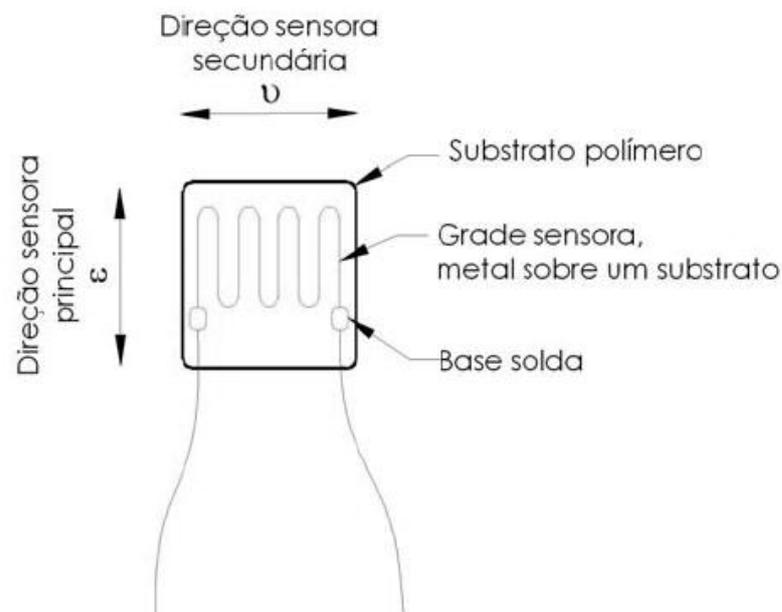


Figura 38 - Extensômetro.

O fator K fornecido pelo fabricante é dado pela Eq. 4.

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} \quad \dots(4)$$

Em que:

K = fator do extensômetro

R = resistência inicial

ΔR = variação resistência

L = comprimento inicial

ΔL = variação do comprimento

2.3.1.2 Ponte de Wheatstone

O circuito da ponte de Wheatstone é utilizado para medir o desbalanceamento entre os extensômetros e resistores, causado pela deformação sofrida da estrutura. O desbalanceamento é medido pela variação de tensão e posteriormente transformado na grandeza desejada.

Existem diversos tipos de configurações de pontes, nos quais podemos citar $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ e ponte inteira (Figura 39), em que a última obtém um melhor resultado, devido a sua elevada sensibilidade.

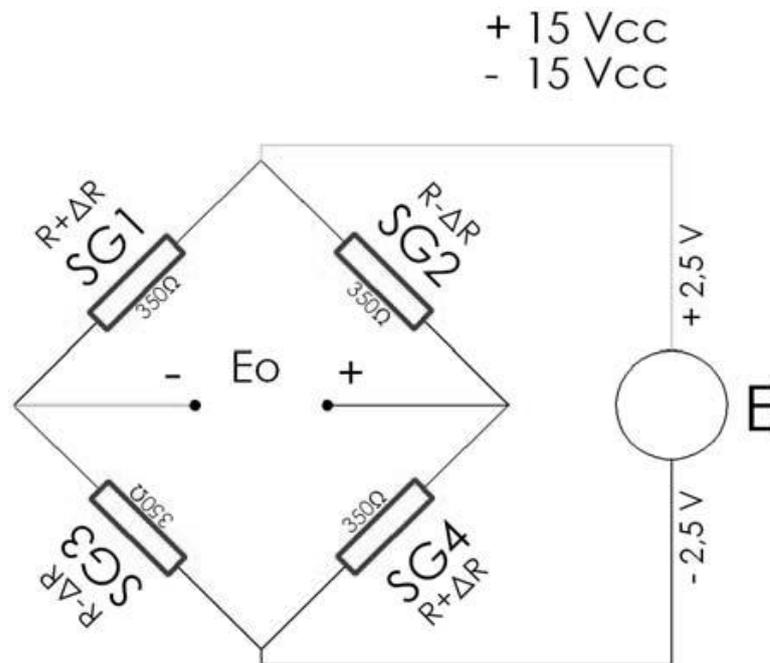


Figura 39 – Ponte de Wheatstone na configuração inteira.

A saída E_o da ponte inteira é dada por:

$$E_o = \frac{E (R + \Delta R)}{(R - \Delta R) + (R + \Delta R)} - \frac{E (R - \Delta R)}{(R - \Delta R) + (R + \Delta R)} \quad \dots(5)$$

$$\frac{E_o}{E} = \frac{2\Delta R}{2R} \quad \dots(6)$$

$$\frac{E_o}{E} = K \epsilon \times 10^{-3} \frac{mV}{V}$$

...(7)

Em que:

$\epsilon = \Delta l / l$ = deformação relativa = $\mu m / m$ = microstrain

K = fator do extensômetro

R = 350Ω

3 METODOLOGIA

Nesse capítulo serão apresentadas as etapas do desenvolvimento do trabalho.

Para a realização dos ensaios da cláusula 21.6 da seção quatro da ABNT NBR IEC 60601 – 1; 1994, da cláusula 21.6 da seção quatro da ABNT NBR IEC 60601 – 2 – 32; 2001 e da cláusula 9.4.2.4.2 da ABNT NBR IEC 60601 – 1; 2010 de forma satisfatória notou-se a necessidade do desenvolvimento de um sistema de tração com velocidade controlada.

A necessidade de um sistema de ensaio automatizado, capaz de enviar ao técnico uma resposta de velocidade de tração e força de propulsão em tempo real, levou ao desenvolvimento de um *software* de controle por meio da plataforma de desenvolvimento LabVIEW®. O *software* foi utilizado para controlar um inversor de frequência responsável por alterar a velocidade de giro do motor de acordo com o ensaio e obter a leitura da velocidade do mesmo a partir de um gerador de pulsos, além de obter a leitura da força aplicada no equipamento no caso do ensaio de força de propulsão.

3.1 Cláusulas da série NBR IEC 60601 relacionadas aos equipamentos eletromédicos móveis.

Para melhor entendimento das necessidades do sistema, a seguir são apresentados os ensaios de cada cláusula referente aos equipamentos eletromédicos móveis

- Cláusula 21.6 da seção quatro ABNT NBR IEC 60601 – 1; 1994 – se refere a ensaios em eletromédicos em geral. O equipamento móvel deve ser tracionado a uma velocidade de $0,4 \text{ m/s} \pm 0,1 \text{ m/s}$, por cima de um obstáculo sólido e plano de 20 mm de altura e 80 mm de largura. O equipamento é considerado conforme se passar por cima do obstáculo, caso após o impacto o equipamento venha a tombar o mesmo é considerado não conforme.

- Cláusula 21.6 da seção quatro da ABNT NBR IEC 60601 – 2 – 32; 2001 – se refere a ensaios em equipamentos associados aos equipamentos de raios X, utilizados como apoio e para o posicionamento relativo aos componentes funcionais. O equipamento móvel deve ser tracionado a uma velocidade de $1,5 \text{ m/s}$, por cima de um obstáculo sólido e plano de 20 mm de altura e 80 mm de largura. O equipamento é considerado conforme se passar por cima do obstáculo, caso após o impacto o equipamento venha a tombar o mesmo é considerado não conforme.

- Cláusula 9.4.2.4.2 da ABNT NBR IEC 60601 – 1; 2010 – se refere a ensaios em eletromédicos em geral. O equipamento móvel deve ser tracionado a uma velocidade de $0,4$

m/s \pm 0,1 m/s e a força necessária para propelir o mesmo a essa velocidade deve ser medida. A força de propulsão deve ser menor ou igual a 200N, caso seja maior do que esse valor de referência as instruções devem declarar que duas pessoas são necessárias para a sua movimentação.

3.2 LabVIEW[®]

O Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench (LabVIEW[®]) é o ambiente desenvolvido pela National Instruments que utiliza uma linguagem de programação gráfica com ícones (linguagem G) em vez de linhas de texto, para criar aplicações. Em contraste às linguagens de programação baseadas em texto, em que instruções determinam a execução do programa, o LabVIEW[®] utiliza programação baseada em fluxo de dados, em que o fluxo desses dados determina a sua execução.

Os programas criados em LabVIEW[®] são chamados de Virtual Instruments (VI), nos quais se constrói uma interface de usuário, conhecida como Painel Frontal, utilizando um conjunto de ferramentas e objetos que permitem a inserção de valores de entrada e observação dos valores de saída processados pelos blocos (em gráficos ou outros indicadores). Para controlar as funções do painel frontal existe uma interface em que é possível adicionar o código fonte utilizando representações gráficas de funções, essa interface é conhecida como Diagrama de blocos e sob alguns aspectos assemelha-se a um fluxograma.

Utilizando o LabVIEW[®], é possível criar aplicações de teste e medição, aquisição de dados, controle de instrumentos, registro de dados, análise de medição e geração de relatórios.

A grande vantagem em se ter disponível um sistema de controle remoto de um experimento é a facilidade com que o usuário do sistema pode lançar informações ao mesmo e ter a sua disposição uma resposta coerente. Por meio das ferramentas disponíveis nos instrumentos virtuais é possível tratar os dados obtidos, possibilitando que os mesmos tragam consigo detalhes que o experimento por si só não forneceria.

3.3 PARAMETRIZAÇÃO/CONTROLE DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA

O inversor de frequência é um dispositivo capaz de controlar a direção e a velocidade da rotação de um motor pela alternância da tensão que chega ao mesmo. O modelo adquirido para uso no sistema de tração controlada oferece uma série de

parâmetros que vão desde controle da frequência máxima de trabalho a formas de controle remoto.

Inicialmente a comunicação do inversor com o programa desenvolvido no LabVIEW® seria feita por meio de uma porta serial RS485 porém, após um estudo do manual do inversor, notou-se a inviabilidade dessa comunicação devido a dificuldade na aquisição dos protocolos de comunicação. Optou-se então pelo controle através de uma entrada de tensão variável de -10 a 10 volts, em que cada valor de tensão fornece uma resposta em frequência na saída do inversor. A tensão variável foi fornecida por um DAQ (dispositivo de aquisição de dados) controlado pelo *software*.



Figura 40 - Inversor de frequência Toshiba.

Após a parametrização o inversor foi ligado ao motor de indução trifásico utilizado no sistema. Entre os diversos modelos disponíveis no mercado o motor de indução foi escolhido pois apresenta uma boa resposta de torque e velocidade, além de fácil controle e instalação.

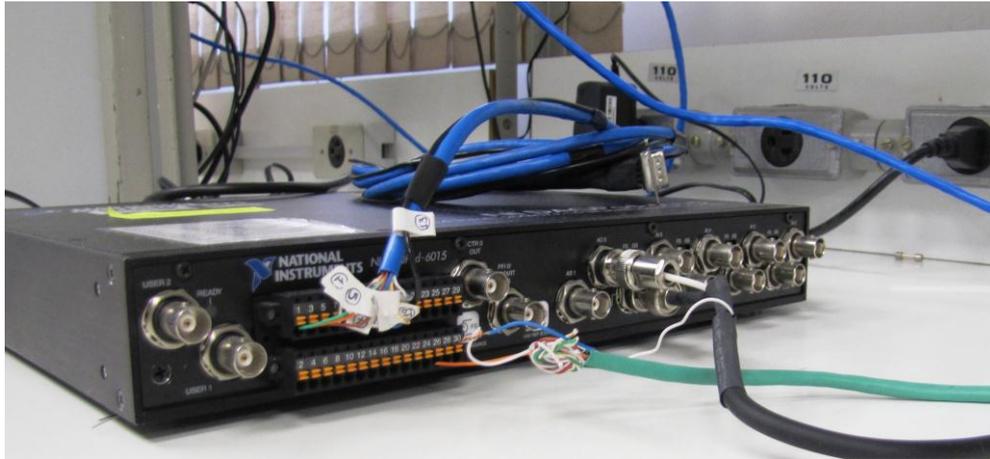


Figura 41 - DAQ da NI com as ligações para o circuito gerador de pulsos e para a o inversor de frequência

3.4 CIRCUITO GERADOR DE PULSOS PARA MEDIDA DE VELOCIDADE

O sistema desenvolvido deveria ser capaz de medir a velocidade com a qual o equipamento sob ensaio está sendo tracionado, garantindo assim as exigências da norma quanto à velocidade de tração.

Primeiramente estudou-se a possibilidade de utilizar um circuito óptico, em que um diodo emissor de luz (LED) e um fotodiodo seriam acoplados à estrutura do motor. Ao ser refletida pela polia, a luz do LED geraria pulsos que teriam sua frequência proporcional a velocidade de giro da polia. Porém a dificuldade de fixar um circuito na estrutura do motor tornou essa opção inviável.

O segundo gerador de pulsos idealizado foi um botão de rolagem, que funcionava como uma chave: o mesmo era alimentado por uma tensão contínua de 5V (por meio do DAQ) e estava fixado na estrutura do motor, encostando-se à face interna da polia. Conforme o botão de rolagem girava fornecia pulsos para o *software*, a frequência desses pulsos era medida para posteriormente ser associada às velocidades de tração.



Figura 42 - Botão de rolagem como gerador de pulsos



Figura 43 - Botão de rolagem fixado a estrutura do motor

Foram realizados diversos testes com esse dispositivo gerador de pulsos, mas no momento da calibração do sistema o botão de rolagem não suportou as trepidações da polia e quebrou. O mesmo foi substituído, mas durante a nova calibração houve ruptura na estrutura novamente e o uso de um novo dispositivo gerador de pulsos foi necessário.

Após pesquisas de dispositivos simples capazes de gerar pulsos de frequência variável, de fácil fixação e com uma resposta compatível com o sistema optou-se por utilizar um *switch* eletromagnético alimentado em 5V pelo DAQ e um ímã, ambos fixados na hélice motor. Cada vez que o ímã passa pelo *switch* um pulso é enviado para o DAQ, a frequência dos pulsos é medida pelo *software* que gera uma relação entre a frequência dos mesmos, a tensão que chega ao inversor e a velocidade de giro da polia.

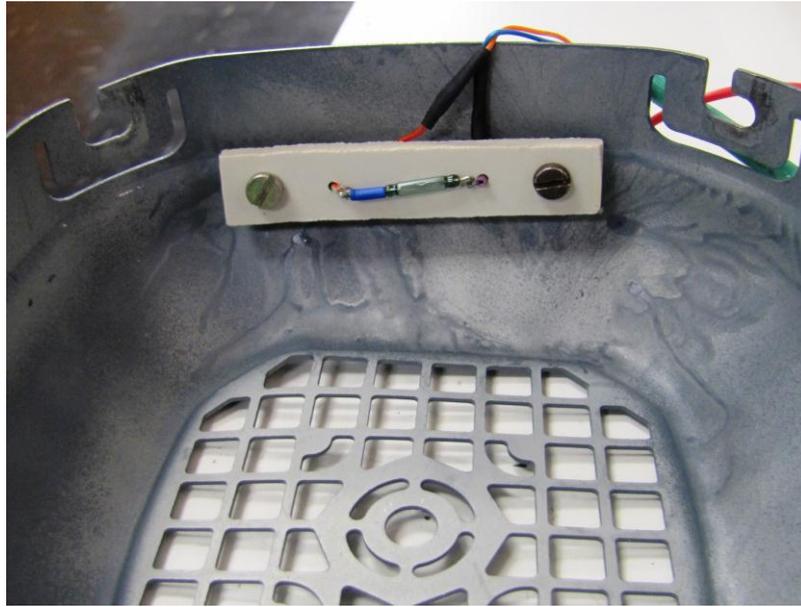


Figura 44 - Switch eletromagnético fixado na tampa da hélice do motor

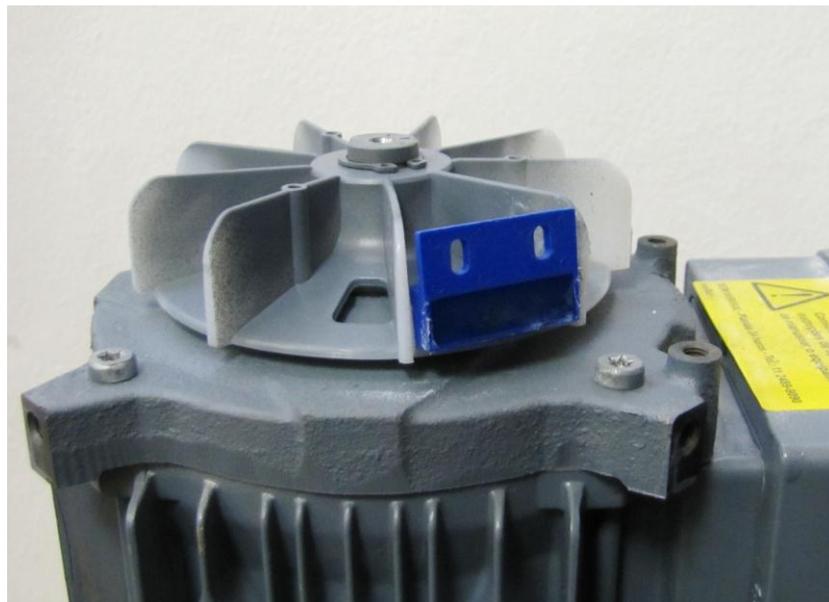


Figura 45 - Ímã que aciona o switch eletromagnético fixado na hélice do motor

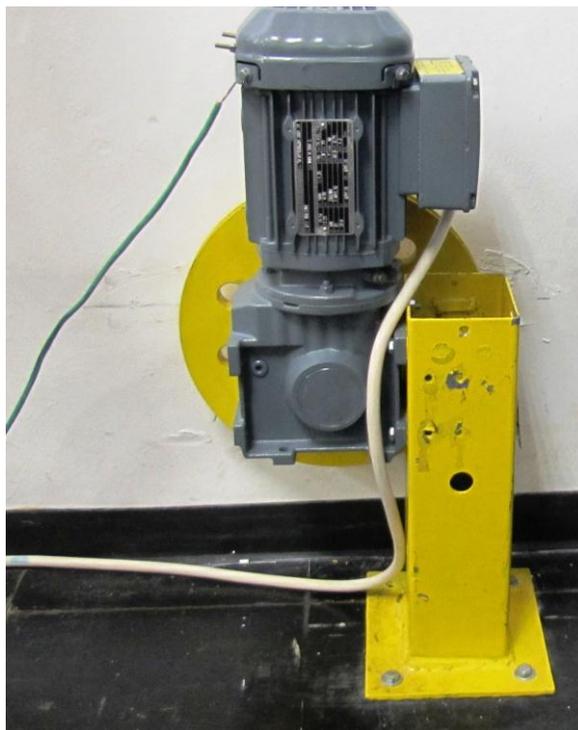


Figura 46 - Motor e polia fixados ao chão

3.5 COMUNICAÇÃO DO DINAMÔMETRO

Para realização da cláusula 9.4.2.4.2 da ABNT NBR IEC 60601 – 1; 2010 é necessária a utilização de um dinamômetro para monitorar a força com a qual o equipamento é tracionado, objetivando determinar a força de propulsão do mesmo.

O dinamômetro utilizado no sistema desenvolvido é portátil e acompanha uma célula de carga com medida máxima de 2500N. É possível configurá-lo para estabelecer uma comunicação serial pela porta RS232. Essa característica foi utilizada para estabelecer a comunicação entre o mesmo e o *software* de ensaio.



Figura 47 - Dinamômetro e célula de carga Chatillon

3.6 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

Embora desde o início do desenvolvimento do sistema os dispositivos utilizados estivessem estabelecidos, o desenvolvimento do *software* passou por diversas etapas uma vez que a cada necessidade atendida pelo sistema, outra característica mostrava-se importante para garantir a confiabilidade dos dados do mesmo.

Primeiramente foi criada uma VI para realizar um controle simples do inversor de frequência e conseqüentemente do motor (Figura 48). Essa VI é responsável por enviar valores de tensão determinados pelo usuário para o inversor.

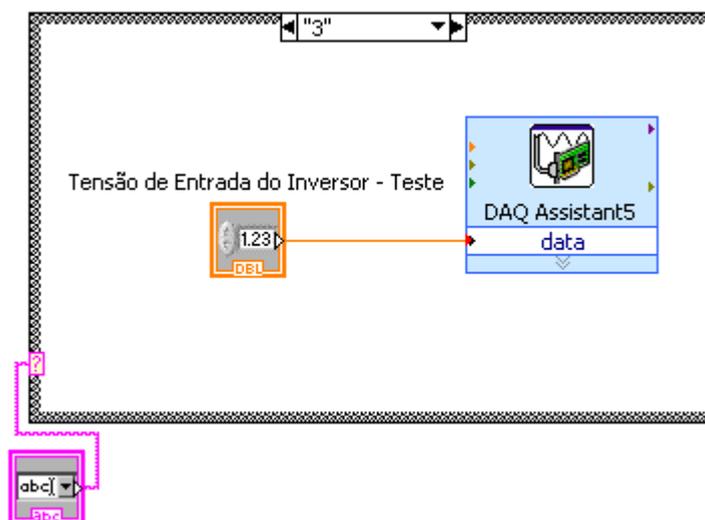


Figura 48 - Controle simples da tensão que chega ao inversor de frequência

A segunda VI criada (Figura 49) foi a de comunicação serial do dinamômetro, que possibilita determinar os parâmetros de aquisição dos dados como a entrada serial do computador que será utilizada, a taxa de transmissão, o número de bits lido, o tempo de resposta da aquisição, entre outros.

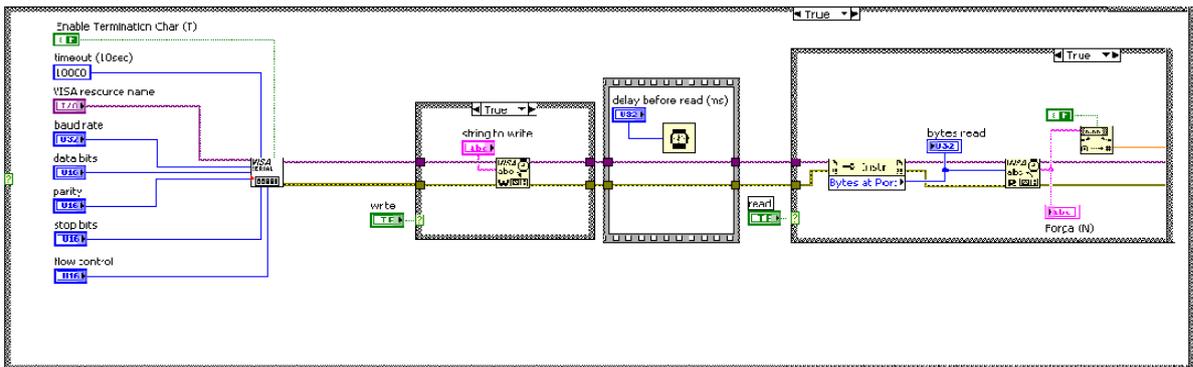


Figura 49 - Configuração da comunicação serial com o dinamômetro

Uma VI responsável pela aquisição da tensão fornecida pelo *switch* também foi criada (Figura 50). Uma tensão contínua no valor de 5V é enviada para o *switch*, conforme o ímã passa pelo mesmo esse envia pulsos para o *software*. A tensão recebida por meio dos pulsos é modulada em 2V e passa por um medidor de frequência da plataforma que transfere esses dados para um gráfico e um indicador numérico. Após essa aquisição os dados de frequência são manipulados por uma VI composta por operações matemáticas (adquiridas durante a calibração do sistema) e informam a velocidade, em metros por segundo (m/s) com a qual o equipamento sob ensaio está sendo tracionado.

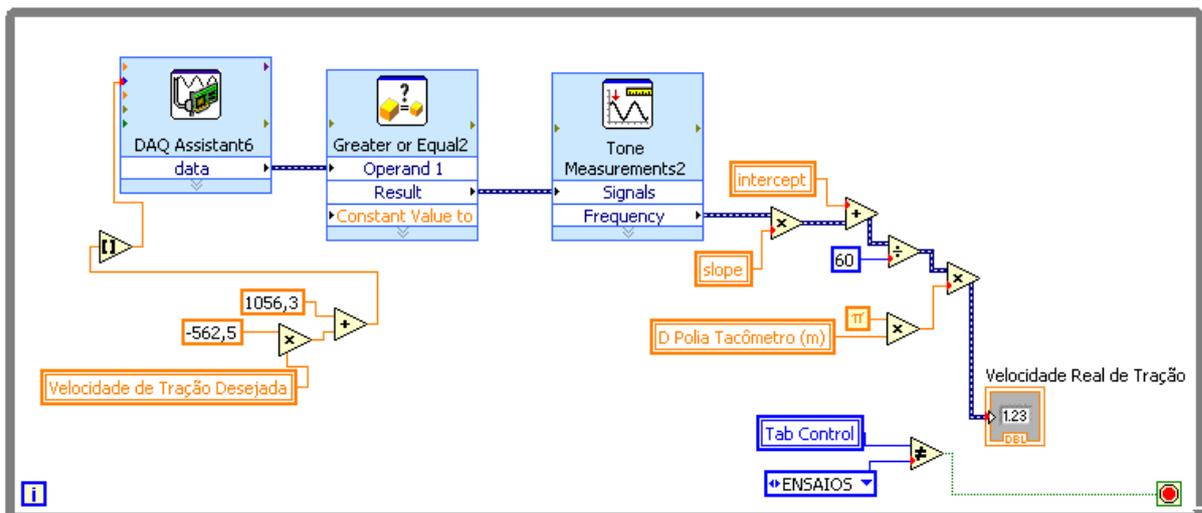


Figura 50 - Manipulação da tensão recebida do switch

Após a confirmação de que o inversor respondia satisfatoriamente aos comandos enviados via *software* e a realização da calibração do sistema, foram criadas VIs para a realização dos ensaios propriamente ditos.

Para evitar que no início do ensaio o equipamento seja tracionado com excessiva força, a tensão de controle enviada pelo DAQ ao inversor é manipulada por meio de operações matemáticas e controle do tempo de cada interação do loop do diagrama de blocos de modo que chegue ao mesmo na forma de uma rampa em que 30% do tempo de ensaio é utilizado para atingir a velocidade determinada pelo usuário e os 70% restantes são a tração na velocidade propriamente dita.

Para o ensaio da cláusula 9.4.2.4.2 da ABNT NBR IEC 60601 – 1; 2010, além do controle de velocidade foi necessária a criação de uma VI capaz de determinar a força medida pelo dinamômetro no momento que a velocidade de tração atinja 0,4 m/s (força de propulsão do equipamento). Isso foi possível pela interpolação dos dados fornecidos pelo gráfico de velocidade e força (Figura 51)

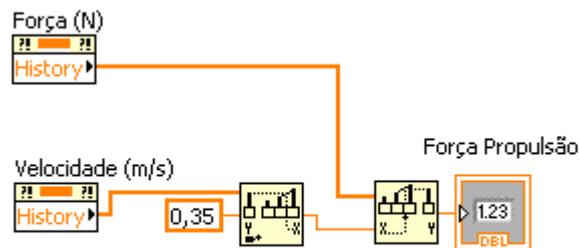


Figura 51 - Determinação da força de propulsão

Com o objetivo de que durante o ensaio de força de propulsão os equipamentos não batam no motor e a célula de carga não seja puxada até a roldana pela qual o cabo de aço passa e durante os ensaios de impacto os equipamentos param de ser tracionados após o impacto no tablado, o *software* possui uma VI que, a partir da inserção da distância disponível para realização do ensaio pelo usuário, calcula o tempo que o motor deverá funcionar (Figura 52). Desse modo para realizar o ensaio de impacto de eletromédicos a 0,4 m/s, com um espaço a partir da borda do tablado de 2 metros o sistema funcionará por 5 segundos: durante 1,5 segundo (30% do tempo de ensaio) realizará a rampa de aceleração e durante 3,5 segundos (70% do tempo de ensaio) realizará a tração na velocidade determinada. Assim que o equipamento bater no tablado o sistema para, permitindo ao técnico amparar o equipamento caso esse tombe sem que o motor continue tracionando o mesmo.

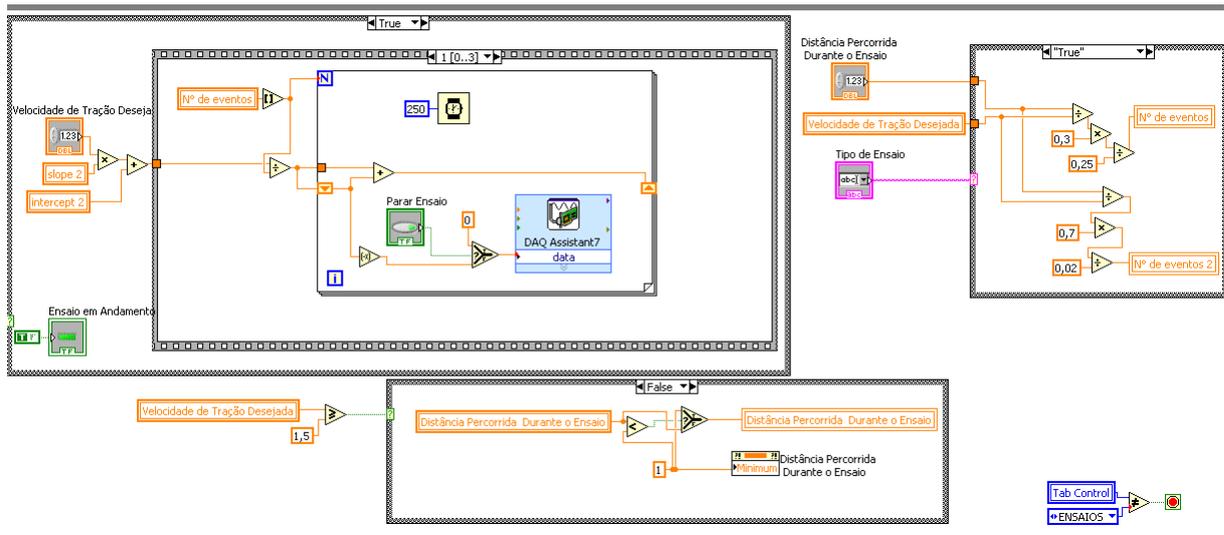


Figura 52 - Controle do tempo de duração da tração

3.7 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO SISTEMA

Para garantir que os dados obtidos pelo sistema são confiáveis e que o mesmo pode ser utilizado na aplicação da norma foi necessário realizar a calibração e a validação do mesmo.

Calibração é um conjunto de operações que estabelece sob condições especificadas, a relação entre os valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidas por padrões.

A calibração foi feita relacionando a frequência dos pulsos do *switch* com a velocidade, em m/s, da polia. Para cada tensão aplicada ao inversor de frequência foi medida, por meio do programa, a frequência dos pulsos emitidos pelo *switch* e a velocidade correspondente da polia, com o auxílio de um tacômetro portátil, em rotações por minuto (RPM). Utilizando o diâmetro da ponta de teste do tacômetro (30 mm) a velocidade em RPM foi convertida para m/s, conforme mostra a Figura 53. Uma tabela de relação entre esses dados foi feita e inserida no *software* (Figura 54), a partir da tabela dois gráficos foram plotados: um relacionando a frequência dos pulsos com a RPM medida pelo tacômetro e outro relacionando a tensão fornecida ao inversor com a velocidade de tração da polia (Figura 55). Do segundo gráfico foram retiradas a inclinação e a interceptação, que foram utilizadas para calcular a tensão que o *software* deve enviar via DAQ que corresponde à velocidade de tração determinada pelo usuário na hora do ensaio.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		2V			3V			4V			5V			6V		
3		Frequência	RPM		Frequência	RPM		Frequência	RPM		Frequência	RPM		Frequência	RPM	
4		10,076	302,2		15,1419	443,3		20,1825	603,2		25,2377	750		30,2908	886,2	
5		10,1065	303,8		15,205	444,7		20,2007	605,3		25,2415	748,2		30,274	884,2	
6		10,1769	303,9		15,1382	444,7		20,179	611,2		25,2476	742,3		30,2675	887,1	
7		10,0748	306,4		15,1619	444,5		20,1785	600,7		25,2313	743,5		30,2984	899,3	
8		10,102	306,8		15,1487	447,6		20,1527	594,3		25,255	743,2		30,2905	901,5	
9		10,0429	307,3		15,155	445,5		20,1881	606,2		25,2533	739		30,2766	899,7	
10		10,0995	305,7		15,257	448,5		20,2291	608,3		25,234	740,4		30,2755	903,1	
11		10,0863	304,9		15,1355	450		20,1964	610,1		25,2404	729,9		30,2543	903,1	
12																
13	Média	10,095613	305,13		15,1679	446,1		20,188375	604,91		25,2426	742,06		30,27845	895,53	
14																
15		RPS	5,0854		RPS	7,435		RPS	10,082		RPS	12,368		RPS	14,925	
16		m/s	0,4793		m/s	0,7007		m/s	0,9502		m/s	1,1656		m/s	1,4067	
17																
18																
19																
20																
21																
22		RAIO	0,015 m		V	Frequência	Velocidade									
23		p	0,0942 m			2 10,095613	0,479289229									
24						3 15,1679	0,700732241									
25						4 20,188375	0,950194333									
26						5 25,2426	1,165629049									
27						6 30,27845	1,406687381									
28						7 35,297725	1,631664684									
29						8 40,283388	1,883777495									

Figura 53 - Tabela de calibração do sistema

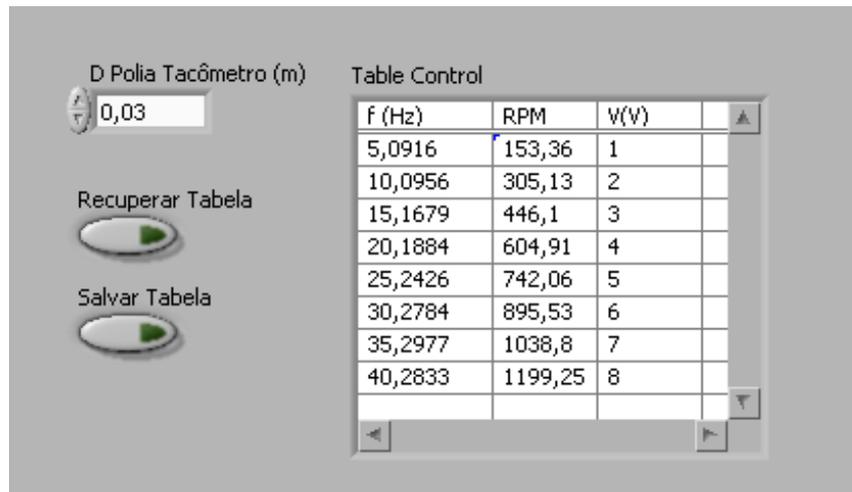


Figura 54 - Tabela de calibração do sistema no software

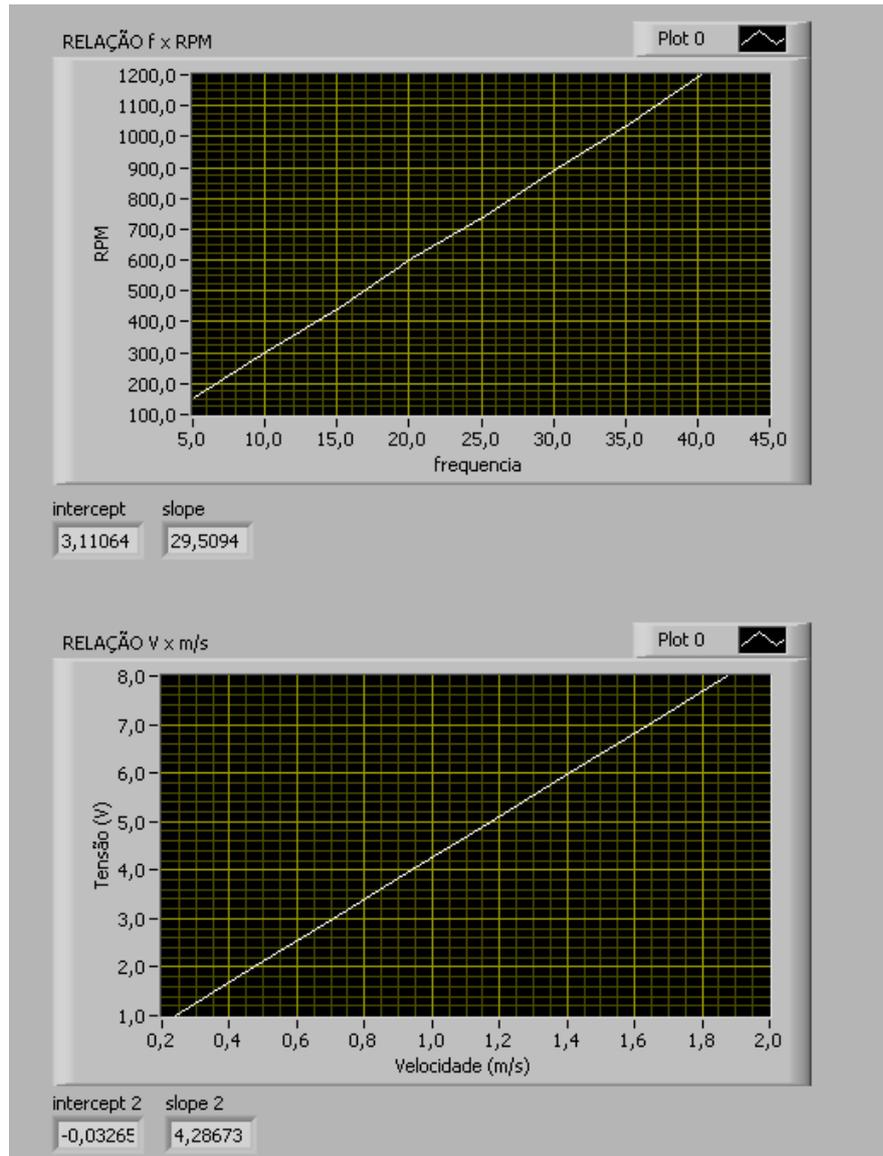


Figura 55 - Gráficos obtidos a partir da tabela de calibração

Após esses cálculos foram realizados testes que confirmaram a calibração do sistema.

Validar é o ato de comprovar, de acordo com as normas e padrões previamente estabelecidos, que os processos de fato conduzem as resultados esperados e projetados. A validação consiste em estabelecer evidências documentadas, com alto nível de segurança, de que um processo específico terá desempenho efetivo e produzirá constantemente um resultado que atenda suas especificações e características previamente determinadas.

A validação do sistema foi feita baseada na distância percorrida pelo equipamento tracionado e no tempo desse deslocamento. Utilizando uma trena calibrada a distância para a realização do teste foi medida e com o auxílio de um cronômetro mediu-se o tempo decorrido desde o início da tração até a parada do motor. Realizou-se esse procedimento

com diferentes combinações de distância e velocidade. Calculou-se então o tempo esperado para a tração, de acordo com a Eq. 8.

$$\left(Nev_1 \times 0,25 \right) + \left(Nev_2 \times 0,02 \right) = Te \quad \dots(8)$$

Em que:

Nev_1 – número de eventos com duração de 250 ms que serão executados pelo *software* durante a rampa de aceleração.

0,25 (250ms) – tempo de cada interação da *VI* responsável pela rampa de aceleração.

Nev_2 – número de eventos com duração de 20 ms que serão executados pelo *software* após a rampa de aceleração (tração na velocidade desejada)

0,02 (20ms) – tempo de cada interação da *VI* responsável por manter a velocidade de tração após a aceleração.

O Nev_1 e o Nev_2 são determinados a partir da Eq. 9 e Eq. 10.

$$\frac{\left(\frac{De}{Vtd} \right) \times 0,3}{0,25} = Nev_1 \quad \dots(9)$$

Em que:

De – distância para a realização do ensaio.

Vtd – velocidade de tração desejada.

0,3 – equivale a 30% do tempo de ensaio (tempo para o *software* executar a rampa de aceleração).

0,25 (250 ms) - tempo de cada interação da *VI* responsável pela rampa de aceleração.

Nev_1 – número de eventos com duração de 250 ms que o *software* executará durante a rampa de aceleração.

$$\frac{\left(\frac{De}{Vtd} \right) \times 0,7}{0,02} = Nev_2 \quad \dots(10)$$

Em que:

De – distância para a realização do ensaio.

Vtd – velocidade de tração desejada.

0,7 – equivale a 70% do tempo de ensaio (tempo para o *software* manter a velocidade de tração após a aceleração).

0,02 (20 ms) - – tempo de cada interação da **VI** responsável por manter a velocidade de tração após a aceleração.

Nev₂ - número de eventos com duração de 20 ms que o *software* executará após a rampa de aceleração (tração na velocidade desejada)

Os resultados dos cálculos foram comparados com o tempo medido pelo cronômetro. A semelhança entre os valores teóricos e os valores práticos, obtidos com o auxílio de dispositivos calibrados, com documentação que o prove, conferiu a validação ao sistema.

4 RESULTADOS

Os resultados apresentados neste trabalho incluem o *software* para o sistema de realização dos ensaios de tração, bem como o procedimento para a realização desses ensaios.

4.1 SOFTWARE DO SISTEMA PARA A REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE TRAÇÃO

O sistema de ensaio controlado visa facilitar a realização de três tipos de ensaios relacionados a tração: ensaio de impacto para EEM móveis, ensaio de impacto para equipamentos radiológicos móveis e ensaio para determinação da força de propulsão de EEM móveis. A seguir será apresentada a interface de comunicação do usuário com o *software* e as funções da mesma. Para facilitar a sua utilização a interface foi dividida em quatro abas: Ajuste de Cabo e Teste Polia, Configuração Dinamômetro, Ensaios, Análise Força de Propulsão.

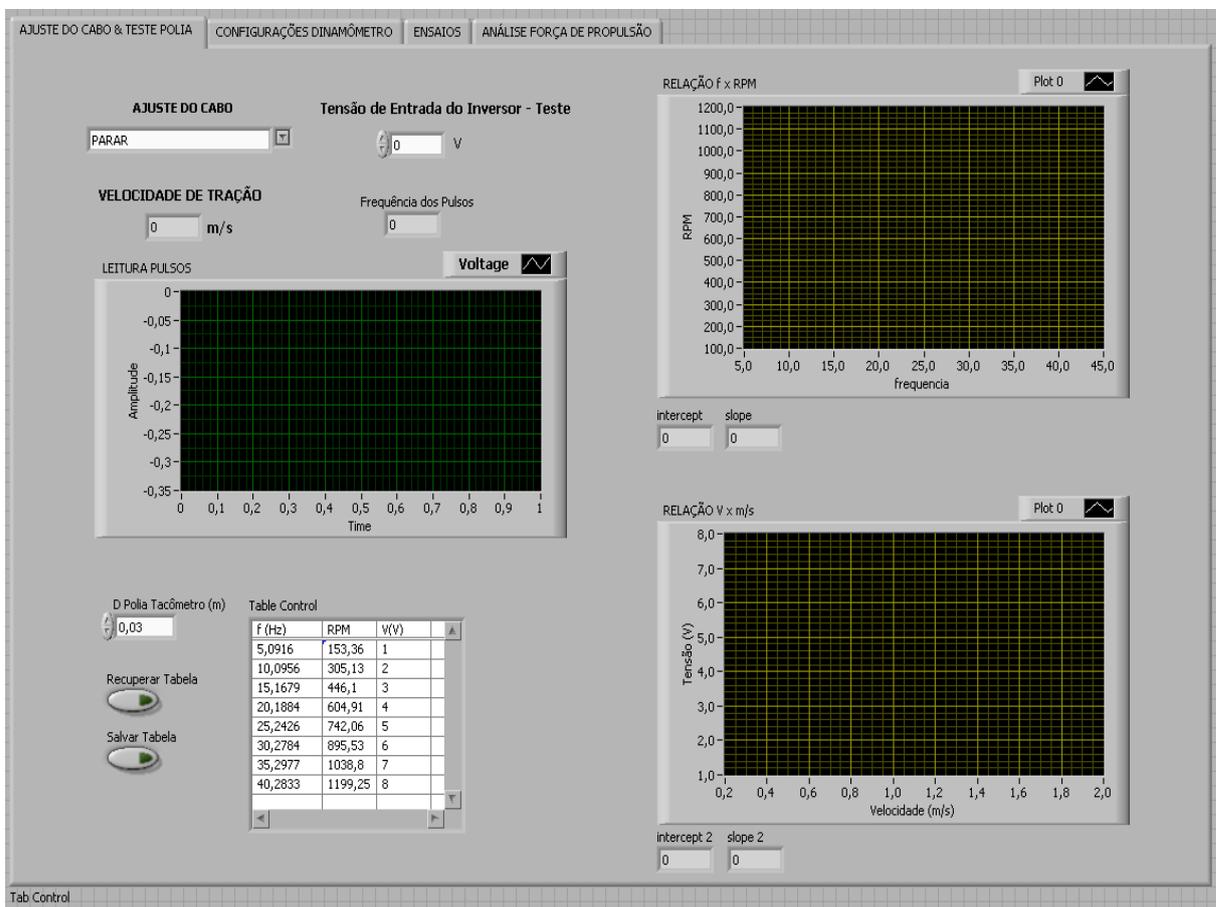


Figura 56 - Aba responsável pelo ajuste do cabo e testes de calibração

A Figura 56 mostra a primeira aba ao rodar o *software* de ensaio – Ajuste de Cabo e Teste Polia. Por meio dela as relações frequência x RPM e tensão x velocidade (m/s) são estabelecidas, fornecendo os dados necessários para o controle do inversor de frequência e conseqüentemente do motor. Nela o usuário realiza testes para confirmar a calibração enviando uma tensão para o inversor, verificando a frequência lida pelo sistema e comparando os valores com os presentes na tabela. Caso alguma alteração seja feita no circuito gerador de pulsos ou uma falha na calibração seja detectada é possível alterar a tabela de relação entre os parâmetros e salvá-la, reajustando assim a calibração.

Essa primeira aba ainda é responsável pelo ajuste do cabo de aço que será ligado ao equipamento submetido ao ensaio: o usuário pode tracionar ou liberar o cabo numa velocidade fixa de 0,25 m/s.

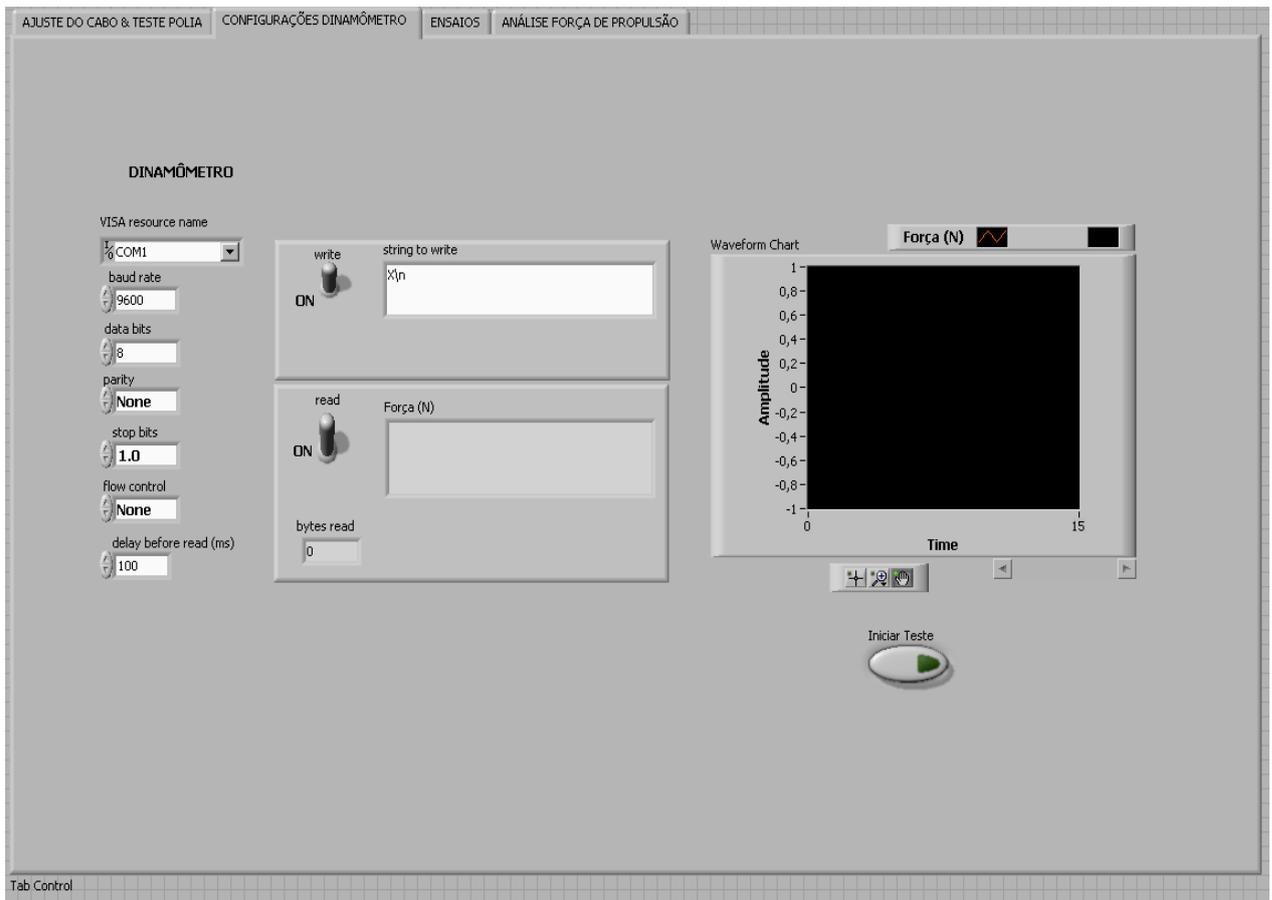


Figura 57 - Aba responsável pela configuração do dinamômetro

A Figura 57 mostra a segunda aba do *software*. Ela é responsável pelas definições dos parâmetros de leitura do dinamômetro como o número de bits lido, a taxa de transmissão e o tempo de resposta da aquisição dos dados. Quando o ensaio realizado for o

de força de propulsão essa aba deverá ser utilizada para verificar se o dinamômetro envia satisfatoriamente a força medida.

Na Figura 58 encontra-se a aba de controle do ensaio propriamente dito. Nela o operador escolhe o tipo de ensaio – força de propulsão ou impacto – a velocidade com a qual o equipamento sob ensaio será tracionado e a distância que o mesmo deverá percorrer. Após a determinação desses parâmetros o botão de Iniciar Ensaio é acionado e o equipamento é tracionado, se durante a tração algum problema ocorrer é possível parar o ensaio por meio do botão Parar Ensaio.

Durante o ensaio os dados de Velocidade Real de Tração e da Força são mostrados em um indicador numérico e gráfico, simultaneamente. Além disso, um indicador luminoso presente na aba confirma se a velocidade do ensaio atingiu a desejada, com uma tolerância de ± 0.1 m/s, de acordo com as normas.

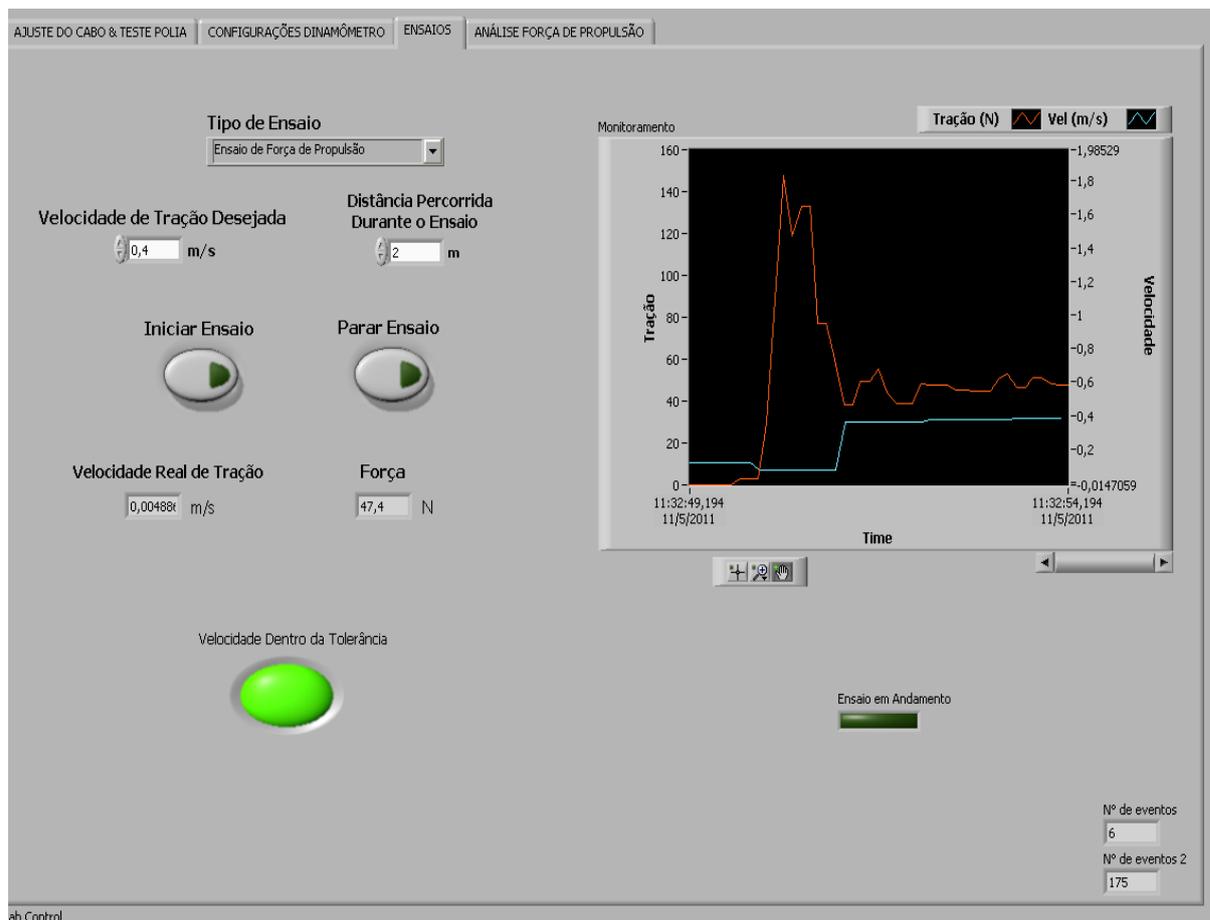


Figura 58 - Aba para a realização do ensaio

Existe no programa ainda uma aba responsável por determinar a força de propulsão do equipamento, que só será utilizada durante o ensaio da cláusula 9.4.2.4.2 da ABNT NBR IEC 60601 – 1; 2010. Nela os dados referentes a velocidade e força de tração são plotados em

dois gráficos, utilizados pelo diagrama de blocos para determinar a força a qual o equipamento estava submetido no momento em que a velocidade de ensaio foi atingida. Essa força é indicada em um indicador numérico, conforme mostra a Figura 59.

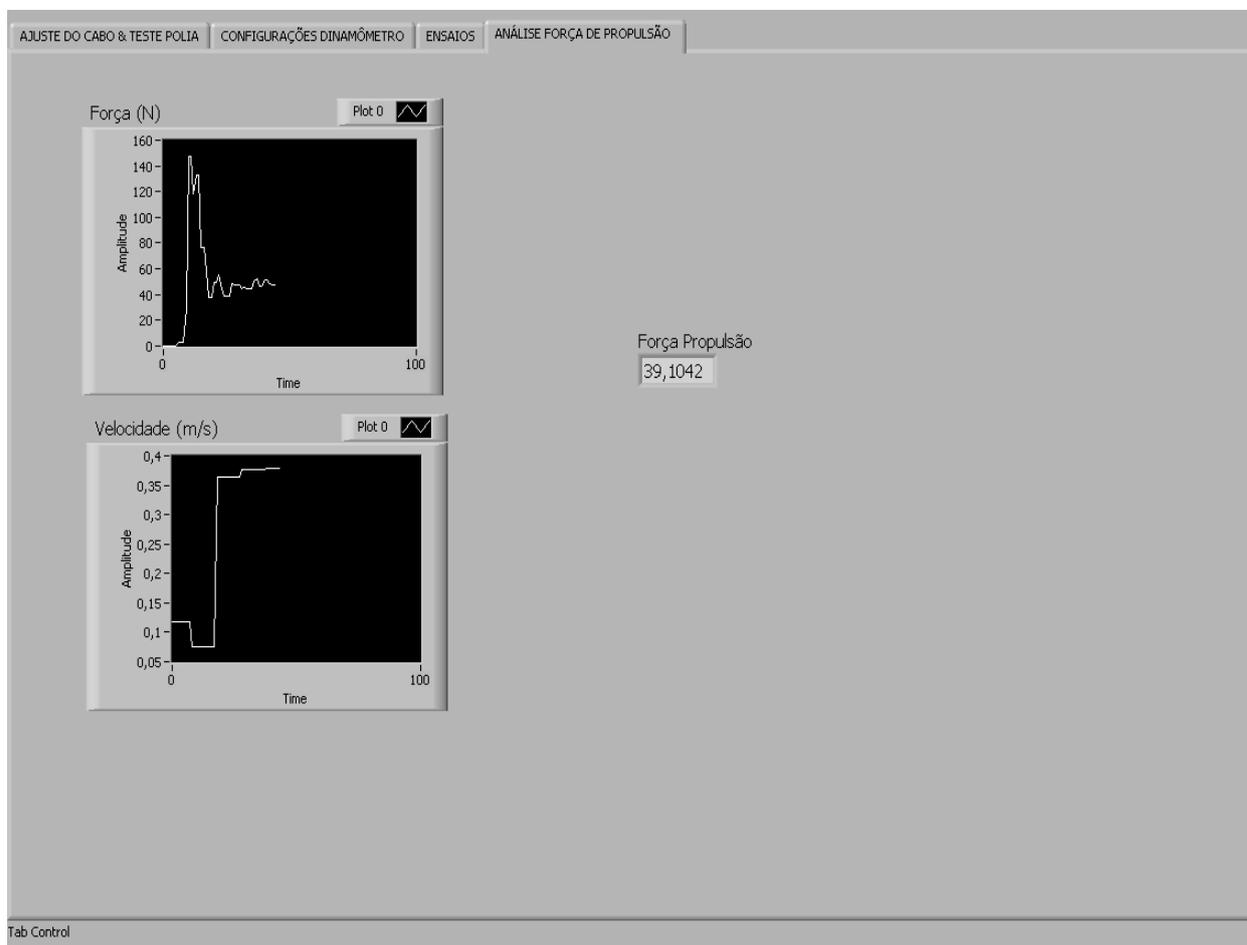


Figura 59 - Aba que determina a força de propulsão dos equipamentos submetidos à ensaio da cláusula 9.4.2.4.2 da ABNT NBR IEC 60601 – 1; 2010

4.2 PROCEDIMENTO PARA A REALIZAÇÃO DO ENSAIO

Para garantir um bom funcionamento do sistema e a confiança dos dados obtidos durante a realização do ensaio o seguinte procedimento deve ser seguido:

- Rodar o programa na aba de testes para verificar se a resposta em frequência dos pulsos está coerente com a tabela de calibração.
- Liberar o cabo da polia e medir a distância entre o equipamento sob ensaio e a extremidade do tablado que sofrerá o impacto (lembrando que para equipamentos radiológicos a distância mínima para a realização do ensaio é de 2 metros). Em caso de

ensaio de força de propulsão a distância de ensaio deverá respeitar um espaço mínimo de 0,5 metro até o motor, evitando que o equipamento se choque com o mesmo.

- Caso o ensaio seja de força de propulsão testar na aba “configuração do dinamômetro” se o mesmo responde às alterações de força de forma satisfatória

- Prender firmemente o cabo de aço ao equipamento. Em caso de ensaio de força de propulsão o cabo que sai da polia deve ser ligado à célula de carga e essa ligada por outro cabo ao equipamento.

- Na aba “Ensaio”, escolher o tipo de ensaio – Força de Propulsão ou Ensaio de Impacto, determinar a velocidade de tração desejada e preencher o campo “Distância Percorrida Durante o Ensaio” de acordo com o valor medido anteriormente.

- Após a confirmação do preenchimento correto dos parâmetros acima e de que o cabo está devidamente preso, o botão “Iniciar Ensaio” na aba “Ensaio” deve ser acionado.

- Aguardar a o tempo de tração do ensaio.

- Caso o ensaio seja de força de propulsão, após a tração do equipamento a aba “Análise Força de Propulsão” deverá ser aberta para que as relações necessárias sejam realizadas pelo *software* e esse forneça a força a qual o equipamento estava submetido quando a velocidade de ensaio atingiu 0,4m/s.

5 DISCUSSÃO

Com o objetivo de levantar todas as necessidades que o sistema de tração deveria atender para que a realização dos ensaios de impacto e força de propulsão fosse satisfatória foi realizado um estudo das cláusulas 21.6 da seção quatro da ABNT NBR IEC 60601 – 1; 1994, 21.6 da seção quatro da ABNT NBR IEC 60601 – 2 – 32; 2001 e cláusula 9.4.2.4.2 da ABNT NBR IEC 60601 – 1; 2010. Com as necessidades do sistema entendidas as etapas seguintes foram de instalação dos dispositivos usados no sistema e desenvolvimento do *software* de controle do mesmo.

Diversos testes foram realizados, com o objetivo de verificar a resposta do sistema e encontrar os pontos falhos que deveriam ser modificados.

A primeira dificuldade encontrada foi referente ao circuito gerador de pulsos. A velocidade de tração é a principal resposta do sistema, por isso o dispositivo responsável pela sua aquisição deveria oferecer confiança. Embora o dispositivo escolhido seja extremamente simples ele responde satisfatoriamente às necessidades do sistema e a sua simplicidade será de grande ajuda caso algum dano ocorra e a troca do *switch* seja necessária.

Uma vez determinado o dispositivo gerador de pulsos a atenção se voltou para o *software* de controle. A partir daí todos os testes realizados visavam analisar o controle atual do *software* sobre o inversor (e conseqüentemente sobre o motor) e a qualidade da resposta adquirida.

Embora o controle do inversor fosse relativamente simples, para que os resultados obtidos durante a realização dos ensaios fossem confiáveis e satisfatórios uma série de adaptações foram necessárias. As principais alterações do *software* desenvolvido no LabVIEW foram:

- A inserção de cálculos matemáticos para a determinação da velocidade de tração a partir da frequência dos pulsos.
- O lançamento dos dados de calibração das planilhas em gráficos, tornando disponíveis os valores de inclinação e interceptação para o cálculo da tensão de controle equivalente para cada velocidade de tração desejada.
- O uso da variável “Distância Percorrida Durante o Ensaio” para calcular o tempo de tração de cada ensaio. A partir daí foi possível dividir a tensão de controle que vai até o inversor, garantindo que ela aumente em pequenos incrementos, formando a rampa de aceleração.

- A interpolação dos dados do gráfico que apresenta a “Tração” e a “Velocidade” (na aba Ensaio) para determinar a Força de Propulsão.

6 CONCLUSÃO

O avanço tecnológico mundial reflete-se diretamente no desenvolvimento dos equipamentos e sistemas utilizados na área de saúde. Nos últimos anos inúmeros equipamentos eletromédicos foram lançados no mercado, com o intuito de melhorar a prevenção, o diagnóstico e o tratamento das patologias atuais. Uma vez que esses equipamentos são diretamente responsáveis pela saúde e bem estar dos pacientes, além de serem manipulados por um grande número de colaboradores, entre técnicos, enfermeiros e médicos, é importante manter cautela quanto a sua segurança e desempenho. As normas aplicáveis a essa categoria de equipamentos e os ensaios prescritos por elas são a melhor forma de garantir a confiabilidade dos mesmos.

Como já foi dito anteriormente, a certificação dos EEM é compulsória e com o objetivo de facilitar o transporte e o acesso aos pacientes vários deles são fabricados na versão móvel. Desse modo, as normas da série NBR IEC 60601 possuem cláusulas voltadas a verificar o desempenho dos mesmos quanto à resistência a manuseio brusco e facilidade de locomoção (verificada por meio da força de propulsão). O estudo das cláusulas 21.6 da seção quatro da ABNT NBR IEC 60601 – 1; 1994, 21.6 da seção quatro da ABNT NBR IEC 60601 – 2 – 32; 2001 e 9.4.2.4.2 da ABNT NBR IEC 60601 – 1; 2010 permitiu o levantamento das necessidades que um sistema de tração controlada deveria atender para a sua realização.

O desenvolvimento do sistema de tração controlada permitirá à STEEE a realização dos ensaios de impacto com a garantia de que a velocidade necessária será atingida, aumentando a confiabilidade e qualidade dos mesmos. Além disso, permitirá a realização do ensaio de força de propulsão que, sem as ferramentas oferecidas pelo *software*, seria inviável já que a monitoração da velocidade e força de tração seria extremamente trabalhosa e passível de erros.

Todas as etapas realizadas durante este trabalho agregaram ao seu autor conhecimentos relacionados à interpretação de normas referentes à segurança e desempenho de equipamentos eletromédicos, programação LabVIEW, calibração e validação de sistemas de medição. Além de propiciar ao mesmo o contato com a rotina de um laboratório de ensaios.

A principal sugestão ao laboratório para a melhora do sistema desenvolvido é a inserção por intermédio do LabVIEW de um controle PID, diminuindo assim a variação da velocidade de tração que, atualmente é igual a $\pm 0,05$ m/s.

7 REFERÊNCIAS

ANDOLFATO, R. P.; CAMACHO, J. S.; DE BRITO, G. A. **Extensometria Básica**, São Paulo: [s.n.], 2004. Disponível em <www.nepae.feis.unesp.br/Apostilas/Extensometria%20basica.pdf>. Acesso em 03 abr. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR IEC 60601-1: Equipamento eletromédico – Parte 1- Prescrições gerais para segurança**. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **ABNT NBR IEC 60601-1: Equipamento eletromédico – Parte 1- Prescrições gerais para segurança**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **ABNT NBR IEC 60601-2 - 32: Prescrições particulares para segurança dos equipamentos associados aos equipamentos de raios X**. Rio de Janeiro, 2001.

BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). s.d. **Acreditação de Laboratórios**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br>>. Acesso em: 23 mar. 2011.

_____. **Portaria nº 350, de 06 de setembro de 2010. Requisitos de Avaliação de Conformidade**. Rio de Janeiro, 2010a.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. In: **Cadastro nacional de estabelecimentos de saúde (CNES). Indicadores – Equipamentos**. Fev. 2011 b. Disponível em <http://cnes.datasus.gov.br/Mod_Ind_Equipamento.asp?VEstado=00> Acesso em 30 mar. 2011.

BRITES, F. G.; SANTOS, V. P. A. **Motor de passo**. Centro Tecnológico - Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2008

CARER, M.; CARRARO, E. **Célula de carga**. Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul.

DEL TORO, Vincent. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**, Rio de Janeiro, 1999.

DIAS, L. E. F. **Motor de indução trifásico**. Instituto de Física “Gleb Wataghin”, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

DREHER, J. R. **Apostila comando industriais II – Módulo IV – Chaves de partida suave Soft-Starter e Inversor de Frequência**. Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, Santa Catarina, 2008.

FUENTES, R.C. **Automação Industrial**. Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

INSTITUTO DE ELETOTÉCNICA E ENERGIA. **Histórico**. Disponível em: <www.iee.usp.br>. Acesso em: 15 mar. 2011.

MENDONÇA, V. **Servomotor: princípio de funcionamento**. Engenharia de controle e automação, Instituto Superior Tupy, Joinville.

MÜHLEN, S.S. **Certificação de qualidade em equipamentos médico-hospitalares no Brasil**. In: Congresso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica, 2. Habana, 2001.

NATIONAL INSTRUMENTS CORPORATION. **LabVIEW Basics I Course Manual - Couse Software Version 6.0**. Texas: 2000. Part Number 320628G-01.

PEREIRA, J. C. **Dinamômetro**. Disponível em <<http://www.joseclaudio.eng.br/dinos1.html>>. Acesso 12 abr. 2011.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL – SENAI. **Conversores CA-CA para acionamento de máquina de indução trifásica**.

SILVA, A. O.; TÁCITO, G. M.; TEIXEIRA, J.C.; ET AL, **Conformidade de equipamentos eletromédicos submetidos a ensaios normalizados**. In: Simpósio de Metrologia na Área da Saúde – METROSAÚDE, São Paulo, 2005.

SOARES, C.F.T. *et al.* **IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em <http://www.gta.ufrj.br/grad/01_1/igtb/Pagina_IGBT.htm>. Acesso 29 de mar. 2011.

TORRES, A. E. **Introdução ao funcionamento e ao acionamento de motores**. Laboratório de controle, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

VARELLA, C. A. A. **Constituição dos motores**. Área de máquinas e energia na agricultura, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ZUCATELLI, F. H. G.; OLIVEIRA, M. A. V. **Controle de servomotores**. Faculdade de Tecnologia Termomecânica, São Bernardo do Campo 2007.