

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS - CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA
ENGENHARIA ELÉTRICA

Alexandre Henrique Brescovitt

DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA INTEGRAÇÃO DE
INSTRUMENTOS E AQUISIÇÃO DE DADOS EM BANCADA DE TESTES DE
MOTORES DE INDUÇÃO.

Florianópolis

2020

Alexandre Henrique Brescovitt

DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA INTEGRAÇÃO DE
INSTRUMENTOS E AQUISIÇÃO DE DADOS EM BANCADA DE TESTES DE
MOTORES DE INDUÇÃO.

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Nelson Jhoe Batistela, Dr.

Coorientador: Carlos Alexandre Correa Wengerkievitz, M.Sc.

Florianópolis

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Brescovitt, Alexandre Henrique

Desenvolvimento de software para integração de instrumentos e aquisição de dados em bancada de testes de motores de indução. / Alexandre Henrique Brescovitt ; orientador, Nelson Jhoe Batistela, coorientador, Carlos Alexandre Correa Wengerkievicz, 2020.

76 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Elétrica, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia Elétrica. I. Batistela, Nelson Jhoe . II. Wengerkievicz, Carlos Alexandre Correa. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Elétrica. IV. Título.

Alexandre Henrique Brescovitt

DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA INTEGRAÇÃO DE
INSTRUMENTOS E AQUISIÇÃO DE DADOS EM BANCADA DE TESTES DE
MOTORES DE INDUÇÃO.

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Elétrica” e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora.

Local, 17 de novembro de 2020.

Prof. Jean Viane Leite, Dr.
Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:

Prof. Nelson Jhoe Batistela, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Carlos Alexandre Correa Wengerkievicz, M.Sc.
Coorientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Jean Viane Leite, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Eletric. Luis Otavio Steffenmunsberg Grillo, M.Sc.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, que me apoiaram durante os anos de graduação. Sem seus esforços esta jornada não teria sido completa.

Agradeço aos colegas de laboratório, que acompanharam o desenvolvimento deste trabalho, e que também me proporcionaram bons momentos de descontração e alegria. Cada dia presente no laboratório é mais um dia que se aprende algo novo.

Agradeço à orientação e a oportunidade concedida de realizar este projeto. À orientação por dedicar momentos de seu tempo para o auxílio e correções durante as iterações do trabalho, e pela oportunidade que me foi dada ao abrir as portas do laboratório e incentivar os estudos dedicados ao tema do trabalho.

RESUMO

O Laboratório de Máquinas e Acionamentos Elétricos do Departamento de Engenharia Elétrica da UFSC contém uma bancada de ensaios projetada para ensaios em motores de indução. O objetivo proposto para este trabalho é realizar a integração entre os instrumentos de medição que compõem a bancada em um programa feito sobre a plataforma LabVIEW. O programa tem como finalidade facilitar a operação da bancada, tornando mais fácil e menos exaustivo os procedimentos necessários para realização de testes em motores. Neste documento estão descritos os procedimentos utilizados para a criação de tal programa, assim como a descrição do produto final. Este trabalho poderá ser utilizado como manual de utilização, ou referência de programação caso o operador precise modificar alguma rotina interna do programa.

Palavras-chave: Bancada de ensaios. Integração. LabVIEW. Aquisição de dados.

ABSTRACT

The Electrical Machines and Drives Laboratory of the Department of Electrical Engineering at UFSC contains a test bench for induction motors. The proposed objective for this work is to integrate the measuring instruments that compose the test bench with a program made on the LabVIEW platform. The program is intended to facilitate the operation of the bench, making it easier and less exhausting for the user to carry out the procedures necessary to perform tests on motors. This document describes the procedures used to create such a program, as well as the description of the final product. This work can be used as a user's manual or as a programming reference in case the operator needs to modify some internal routine of the program.

Keywords: Test bench. Integration. LabVIEW. Data acquisition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Motor de indução com vista do estator e do rotor	18
Figura 2 - Diagrama de perdas no motor de indução	19
Figura 3 - Circuito Equivalente do motor de indução trifásico	20
Figura 4 - Bancada de ensaios para motores de indução.....	24
Figura 5 - Analisador de potência Yokogawa WT500.....	25
Figura 6 - Transformador de corrente Brasformer BCS 03.....	26
Figura 7 - Módulo de aquisição MX440B.....	26
Figura 8 - Multímetro digital Agilent 34410A.....	27
Figura 9 - Fonte corrente contínua Keisight E 3662A	28
Figura 10 - Indicador de pesagem Alfa 3100C	28
Figura 11 - Configuração da bancada para testes em motores grandes.....	30
Figura 12 - Configuração da bancada para testes em motores pequenos.....	30
Figura 13 - Painel e diagrama de blocos de um VI	31
Figura 14 - Conexão entre o computador e o módulo MX440B.....	33
Figura 15 - Rotina genérica de aquisição de dados para o módulo MX440B.....	33
Figura 16 - Conexão entre o computador e o analisador de potência WT500	34
Figura 17 - Rotina genérica de aquisição de dados para o analisador de potência	35
Figura 18 - Conexão entre o computador e o multímetro digital 34410A	35
Figura 19 - Rotina genérica de aquisição de dados para o multímetro digital	36
Figura 20 - Conexão entre o computador e a fonte de corrente contínua E3632A ...	37
Figura 21 - Rotina genérica de aquisição de dados para a fonte DC.....	38
Figura 22 - Conexão entre o computador e o indicador de pesagem 3100C.....	39
Figura 23 - Rotina de aquisição de dados do indicador de pesagem.....	39
Figura 24 - Estrutura do Queued Message Handler	41
Figura 25 - Implementação do QMH em um programa com os instrumentos.....	42
Figura 26 - Página inicial da interface de usuário	44
Figura 27 - Configurações do analisador de potência	45
Figura 28 - Configurações do multímetro	46
Figura 29 - Configurações da fonte de corrente contínua	47
Figura 30 – Configuração do módulo de aquisição.....	47
Figura 31 – Configuração do indicador de pesagem.....	48
Figura 32 - Janela de grandezas elétricas	48

Figura 33 - Janela de grandezas mecânicas.....	50
Figura 34 - Janela de aquisição para motores monofásicos	50
Figura 35 - Janela de aquisição para motores trifásicos.....	51
Figura 36 - Janela de aquisição de resistências	52
Figura 37 - Caixas de diálogo para salvar as tabelas ao encerrar o programa	53
Figura 38 - Estrutura de inicialização das filas	54
Figura 39 - EHL com Estrutura de eventos e laço de repetição	55
Figura 40 – Evento de <i>Timeout</i> do EHL.....	56
Figura 41 - MHL do analisador de potência.....	57
Figura 42 - Diagrama do Programa Assistente de Ensaaios	58
Figura 43 - Diagrama de fluxo do processo "Iniciar aquisição"	61
Figura 44 - Motor do compressor isolado em frame ajustável.....	63
Figura 45 - Bancada adaptada para testes verticais.....	64
Figura 46 - Motor do compressor testado verticalmente.....	64
Figura 47 - Curva de rendimento	66
Figura 48 - Curva de perdas	66
Figura 49 - Descrição para conexão de sensor de frequência com sinal direcional ...	72
Figura 50 - Especificações elétricas do sensor	72
Figura 51 - Cabo adaptador RS-232/USB.....	74
Figura 52 - Padrão para confecção de cabo RS-232 da fonte de corrente contínua...	75
Figura 53 - Padrão para confecção de cabo RS-232 do indicador de pesagem.....	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Interfaces de comunicação utilizadas para cada conexão	32
Quadro 2 - MHL, filas e mensagens.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Grandezas obtidas durante teste de carga.....	65
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API Application Programming Interface

CE Circuito Equivalente

CV Cavalo Vapor

EHL Event Loop Handler

IP Internet Address

LabVIEW Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench

LAN Local Area Network

MHL Message Loop Handler

OVP Over Voltage Protection

QMH Queued Message Handler

RMS Root Mean Square

SCADA Supervisory Control and Data Acquisition

TC Transformador de Corrente

THD Total Harmonic Distortion

VI Virtual Instrument

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo Geral.....	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
2	MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO.....	18
3	NORMA IEEE 112	22
3.1	MÉTODO B.....	22
4	A BANCADA DE ENSAIOS	24
4.1	ALIMENTAÇÃO	25
4.2	ANALISADOR DE POTÊNCIA	25
4.3	MÓDULO DE AQUISIÇÃO	26
4.4	MULTÍMETRO DIGITAL	27
4.5	FONTE DE CORENTE CONTINUA.....	28
4.6	INDICADOR DE PESAGEM.....	28
4.7	CONEXÃO ENTRE INSTRUMENTOS E O COMPUTADOR.....	29
5	A PLATAFORMA LABVIEW	31
5.1	A COMUNICAÇÃO ENTRE O LABVIEW E OS INSTRUMENTOS.....	32
5.1.1	PC - MX440B	32
5.1.2	PC – WT500	34
5.1.3	PC - 34410A.....	35
5.1.4	PC - E3632A	37
5.1.5	PC - 3100C.....	38
5.2	ESPECIFICAÇÃO DE PROGRAMA	40
5.2.1	Queued Message Handler	41
6	PROGRAMA ASSISTENTE DE ENSAIOS	44
6.1	INTERFACE DE USUÁRIO	44
6.2	DESIGN QML APLICADO AO PROGRAMA ASSISTENTE DE ENSAIOS ..	54

6.3	REQUISITOS DE UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA.....	62
6.4	VALIDAÇÃO.....	62
7	CONCLUSÃO.....	67
	REFERÊNCIAS.....	69
	APÊNDICE A – Conexão entre módulo MX440B e o sensor Dynapar serie 54Z	72
	APÊNDICE B – Procedimento para confecção de cabo para comunicação Serial RS-232.....	74

1 INTRODUÇÃO

A digitalização está cada vez mais presente na maneira que os operadores interagem com processos físicos, uma vez que retira o esforço físico, mas aumenta a complexidade do serviço executado. Um exemplo disso pode ser observado em sistemas supervisórios, onde o operador consegue visualizar uma linha de produção inteira em uma tela de computador, à medida que combina a informação de sensores e indicadores, o que facilita a tomada de decisão caso ocorra algum tipo de falha no sistema. O operador pode, também, atuar sobre ela ao clique de um botão utilizando atuadores acionados remotamente. Tais sistemas são conhecidos como Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA). Esse tipo de tecnologia está em grande parte do setor industrial, visto que o aumento na eficiência de processos já é um resultado conhecido. (MAMEDE FILHO, 2010).

Outro componente importante da indústria moderna são os motores de indução. Estes são máquinas elétricas capazes de realizar a conversão de energia elétrica em energia mecânica. Apesar de ser uma tecnologia antiga (desde 1887), as características de robustez, baixo custo e pouca manutenção aliados aos avanços mais recentes da tecnologia fazem com que ainda sejam amplamente utilizados na indústria (BIM, 2014). Por este motivo, representam uma parcela considerável do consumo energético do país. No Brasil esta parcela chega a quase 70% de toda a energia consumida pelo setor industrial (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007).

Diante desse cenário, tais máquinas são alvo frequente de ações de eficiência energética, da mesma forma que se busca aperfeiçoar os projetos de motores para obter melhores condições de operação.

Para a determinação padronizada das características da máquina são utilizados os métodos descritos nas normas internacionais IEEE112 e IEC60034-2-1 e na norma brasileira NBR1709-3. Estes métodos são compostos por testes que requerem precisão e agilidade na medição das grandezas elétricas (tensão, corrente, potência etc.) e mecânicas (torque e velocidade de rotação) durante a operação do motor em variadas condições de alimentação e carregamento.

A fim de possibilitar a realização destes ensaios no desenvolvimento de estudos relacionados à eficiência energética de motores elétricos, uma bancada especial de ensaios foi instalada no Laboratório de Máquinas e Acionamentos Elétricos (LABMAQ) do Departamento de Engenharia Elétrica da UFSC.

A operação individual de cada instrumento de medição resulta num processo laborioso e propenso à inserção de erros humanos, seja por falta de sincronia das medições, descuido ou

demora nas leituras, além de demandar significativo esforço no processamento dos resultados. Uma vez automatizado o processo de aquisição dos dados desses testes, é possível retirar o fator de erro humano na leitura das medidas e garantir que todos os valores sejam adquiridos em um mesmo instante de tempo.

Em razão das dificuldades e do tempo despendido para realizar ensaios na bancada, este trabalho apresenta um programa de computador assistente de ensaios na plataforma LabVIEW para facilitar e mitigar os efeitos da interferência humana durante os testes. Com os avanços da tecnologia introduzidos pela automação industrial e dos conceitos de sistemas supervisórios, o programa tem por função mostrar em um único terminal (computador) os dados de diferentes instrumentos da bancada de ensaios para motores elétricos, onde o operador pode configurar os instrumentos (escalas de leitura de dados, taxas de aquisição) além de salvar os pontos de interesse em uma tabela e posteriormente exportar para um arquivo de texto com os valores separados por tabulação.

Visto a grande quantidade de testes que requerem uma coleta sistemática de dados para posterior análise, realizar ensaios ou testes com auxílio de um sistema digitalizado para a captura de dados é uma prática comum entre os laboratórios de pesquisas das mais diversas áreas. A plataforma LabVIEW é amplamente utilizada para essa finalidade uma vez que não é necessário um conhecimento profundo de programação e de comunicação de sistemas eletrônicos para conectar uma placa de aquisição com o computador, facilitando o procedimento de conexão com sensores e equipamentos e disponibilizando mais tempo para a pesquisa (BOTTARO, 2012).

O trabalho está organizado em sete capítulos. No capítulo 2 é apresentado o motor de indução e suas características básicas. No capítulo 3 é apresentada a norma IEEE 112 e a descrição do método utilizado para testes em motores de indução polifásicos. No capítulo 4 é apresentada a bancada de ensaios e cada um de seus instrumentos. No capítulo 5 é apresentada a plataforma LabVIEW e como ela é utilizada para realizar a conexão com cada instrumento. No capítulo 6 é apresentado o programa de ensaios, tanto da parte de interface de usuário quanto a parte do código. Ambas as partes são explicadas detalhadamente, desta forma podem ser utilizadas como o manual do programa. E por fim, no capítulo 7 é apresentada a conclusão do trabalho.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo do Trabalho de Conclusão de Curso (projeto) pode ser dividido em duas partes: uma de contexto geral, que insere o projeto dentro de uma necessidade do laboratório e uma específica, que detalha os passos tomados para o planejamento e execução do projeto.

1.1.1 Objetivo Geral

Elaborar um programa de computador que se conecte com todos os instrumentos de medição de uma bancada de ensaios para a aquisição de dados durante o processo de testes em motores de indução trifásicos e monofásicos.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos/metodológicos para o desenvolvimento do trabalho são:

Estudar o software LabVIEW;

Estudar as normas: IEEE 112 e NBR17094-3;

Estudar os equipamentos e operação da bancada;

Realizar levantamento das interfaces disponíveis nos equipamentos;

Realizar testes em motores para familiarização com os procedimentos e a bancada;

Implementar os algoritmos de comunicação com os instrumentos;

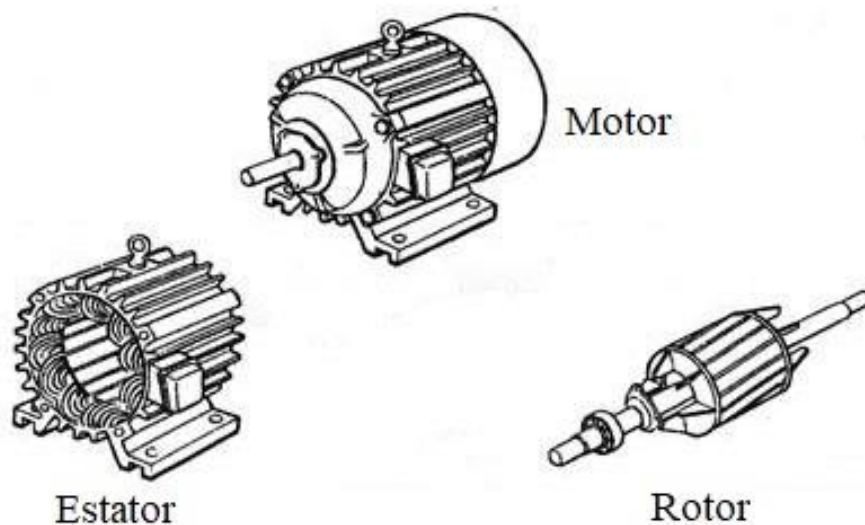
Realizar testes para verificar e validar as funcionalidades do programa.

2 MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

A teoria eletromecânica dos motores de indução é antiga, começando com a sua concepção por Nikola Tesla em 1887. Hoje os motores agregam alta tecnologia contando com auxílio de computadores para otimização de projetos e novos materiais sendo aplicados em sua construção para melhora de rendimento.

O motor de indução pode ser dividido em duas partes: o rotor, que é a parte girante do motor; e o estator, que é a parte fixa do motor onde existem bobinas alimentadas eletricamente, como visto na Figura 1. A disposição dessas bobinas ao longo do estator é feita de tal maneira que, quando alimentadas por um sistema de tensões trifásicas equilibradas, é gerado um campo magnético girante no entreferro. Quando este campo varia sobre os condutores do rotor, é induzida uma corrente de maneira a se opor à variação do campo magnético de acordo com a lei de Lenz. Dessa forma, quando a intensidade do campo começa a aumentar em uma direção, a corrente induzida cria um campo contrário e é a interação desses campos que faz com que o motor gire.

Figura 1 - Motor de indução com vista do estator e do rotor



Fonte: Adaptado de (ATO, 2017)

Outro resultado desta interação faz com que o motor gire sempre a uma velocidade abaixo da velocidade do campo gerado pelo estator (chamada de velocidade síncrona N_s no contexto de motores elétricos). Se equalizadas as velocidades do rotor e do campo girante, não existiria mais variação de fluxo nos condutores do rotor resultando na extinção da corrente induzida, assim o motor deixaria de produzir torque para se manter em rotação. Ao acoplar uma carga ao eixo do motor a tendência natural será de diminuir a rotação, resultando no aumento

da variação de fluxo nas bobinas e, conseqüentemente, do torque. Atinge-se, assim, um novo ponto de operação com menor velocidade do que inicialmente (BIM, 2014).

A velocidade síncrona do motor de indução dada em rotações por minuto (rpm) pode ser vista na equação (2.1), onde f representa a frequência da tensão de alimentação em hertz (Hz) e p o número de polos do campo girante:

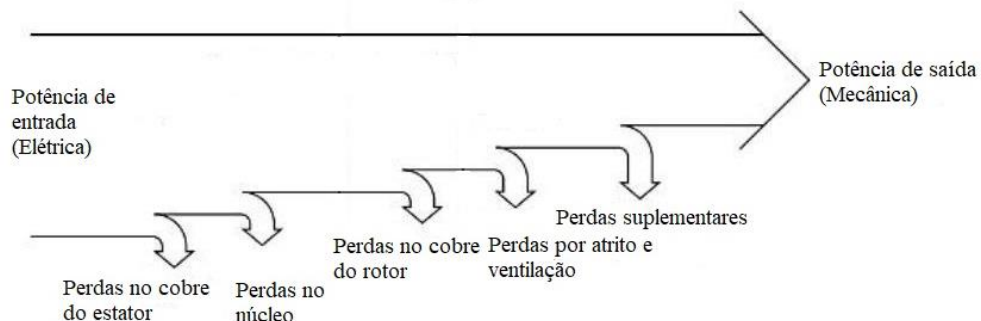
$$N_s = 120 \frac{f}{p} \quad (2.1)$$

A diferença entre N_s e a velocidade do rotor é chamado de escorregamento s . Diferentes escorregamentos são verificados para diferentes cargas, pois o ponto de operação é variável com a carga do motor. Esta grandeza é geralmente normalizada pela própria N_s como visto na equação (2.2), sendo N velocidade do rotor em rpm e s dado em pu.

$$s = \frac{N_s - N}{N_s} \quad (2.2)$$

O rendimento descreve a quantidade da energia elétrica que foi transformada em trabalho útil do total fornecido ao motor. As parcelas de energia fornecidas que não foram transformadas em trabalho útil são denominadas de perdas, as quais podem ser classificadas como: perdas mecânicas (atrito e ventilação), perdas no ferro (histerese e correntes de Foucault), perdas por efeito Joule nas bobinas do estator, perdas por efeito Joule nos condutores do rotor, e as perdas suplementares como visto na Figura 2. De acordo com (MACHADO, 2008), as perdas suplementares são de natureza de alta frequência e se devem as não idealidades do motor e de difícil predição analítica. A maioria das perdas suplementares veem do fluxo de dispersão da máquina e são influenciadas pela configuração mecânica dos dentes, das ranhuras, do entreferro e das bobinas do estator.

Figura 2 - Diagrama de perdas no motor de indução

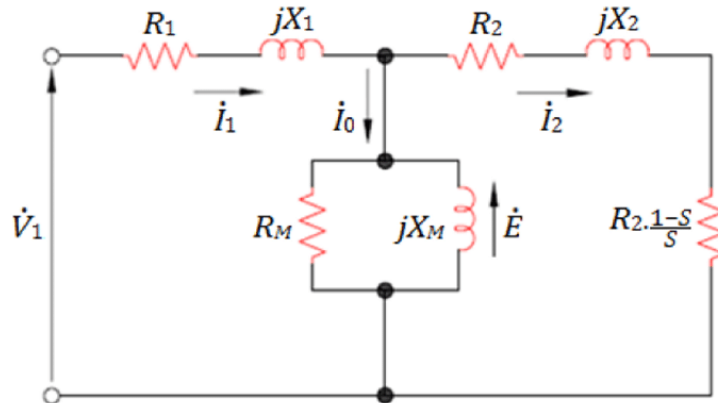


Fonte: Adaptado de (CHAPMAN, 2013)

O motor pode ser representado por um circuito equivalente (CE) quando opera em regime permanente alimentado com tensão senoidal balanceada e simétrica. No caso do motor

de indução trifásico, o circuito por fase, que pode ser visto na Figura 3, é utilizado na norma IEEE112. Este circuito é semelhante ao de um transformador em curto circuito devido ao efeito transformador entre o estator e o rotor. As grandezas do rotor são referidas ao estator assim como se refere o secundário de um transformador ao primário. Para efeito de análise se considera o motor sempre ligado em Y, mesmo que internamente esteja com ligação Δ (IEEE, 2017). O fasor V_1 é a tensão de alimentação da máquina sobre cada fase do enrolamento do estator, R_1 representa a resistência deste enrolamento e X_1 a sua reatância de dispersão.

Figura 3 - Circuito Equivalente do motor de indução trifásico



Fonte: Adaptado de (CHAPMAN, 2013)

Os efeitos que ocorrem no ferro podem ser representados por uma resistência R_M , que indica as perdas no ferro e por X_M vista como uma reatância de magnetização. Observa-se que a tensão efetiva sobre o rotor é E , indicando a força contra eletromotriz gerada em cada fase.

Do CE podemos avaliar as características do motor. O rendimento (η) do motor pode ser determinado de três maneiras equivalentes, representadas por (2.3), (2.4) e (2.5): potência de saída (P_{out}) dividida pela potência de entrada (P_{in}), potência de entrada menos as perdas do motor dividida pela potência de entrada, ou, potência de saída dividida pela soma da potência de saída com as perdas (esta última forma é mais comum para geradores) respectivamente.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (2.3)$$

$$\eta = \frac{P_{in} - Perdas}{P_{in}} \quad (2.4)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + Perdas} \quad (2.5)$$

Com base nessas definições, a norma IEEE112 recomenda vários métodos para determinação de rendimento do motor, seja por análise do CE, por segregação de perdas, ou por medição direta das potências de entrada e de saída.

As parcelas de perda que podem ser calculadas com o CE representam uma forma simplificada de verificar o desempenho do motor, porém não são calculadas as perdas suplementares (P_s) e por atrito e ventilação (P_{av}). Estas são determinadas através de testes.

Utilizando a Figura 2 e a Figura 3 se pode realizar um fluxo de potência do motor apresentando as equações das perdas. A potência elétrica de entrada (P_{in}), em watts (W), é apresentada pela equação (2.6), onde V_l é o valor eficaz da tensão de fase, em volts (V), I_l é o valor eficaz da corrente de fase, em amperes (A), (para o caso da ligação Y, a corrente de fase é igual a corrente de linha) e $\cos\phi$ é o fator de potência da máquina para uma alimentação senoidal.

$$P_{in} = 3V_l I_l \cos \phi \quad (2.6)$$

A primeira parcela de perda a ser calculada é a perda Joule nos enrolamentos do estator (P_{je} , W), apresentado pela equação (2.7), em que R_l é a resistência DC do enrolamento de uma fase do estator em ohms (Ω).

$$P_{je} = 3R_l I_l^2 \quad (2.7)$$

A segunda parcela são as perdas no ferro (P_h , W), causada pelas características magnéticas do material do núcleo. Pode-se calcular a partir da equação (2.8), em que E é a força contra eletromotriz gerada em cada fase (V), e R_M é a resistência que representa essas perdas (Ω).

$$P_h = \frac{3E^2}{R_M} \quad (2.8)$$

A última parcela a ser calculada é a perda Joule no rotor (P_{jr} , W), apresentada pela equação (2.9), em que R_2 é a resistência DC dos enrolamentos do rotor (Ω), e I_2 é o valor eficaz da corrente do rotor (A), ambos referidos ao estator.

$$P_{jr} = 3R_2 I_2^2 \quad (2.9)$$

Sendo assim a equação que representa a perda total do motor de indução trifásico (P_t , W) é apresentada pela equação (2.10). Esta equação pode ser vista como um complemento à Figura 2.

$$Perdas = P_t = (P_{je} + P_h + P_{jr} + P_s + P_{av}) \quad (2.10)$$

Para finalizar, a potência de saída no eixo do motor (P_{out} , W) é apresentada na equação (2.11), em que T é o torque no eixo no motor, em Newton metro (Nm), e ω_r é a velocidade angular do eixo em radianos por segundo (rad/s).

$$P_{out} = T\omega_r \quad (2.11)$$

3 NORMA IEEE 112

Para estudar as características de desempenho dos motores de indução é preciso saber os valores das grandezas elétricas e mecânicas envolvidas para determinados pontos de operação do motor. As grandezas, portanto, são medidas com instrumentos de precisão durante testes específicos para cada característica desejada, enquanto o motor é acionado com uma carga variável acoplada ao seu eixo. Para garantir replicabilidade dos resultados existem normas que ditam um padrão a ser seguido durante a execução dos testes. Assim os resultados podem ser encontrados independentemente de quem conduz os testes ou da instrumentação utilizada para aquisição das grandezas, desde que os critérios da norma sejam atendidos.

A norma contém métodos onde são descritos os procedimentos para a realização de testes em motores de indução polifásicos. A partir desses métodos é possível calcular diversas características da máquina, dentre elas o rendimento.

O rendimento pode ser calculado de diversas maneiras: Relação de potência de saída sobre a potência de entrada, separação de perdas, máquinas duplicadas e circuito equivalente. Cada método contém uma bateria de testes aos quais o motor deve ser submetido de maneira a determinar sistematicamente o seu desempenho. A norma também descreve as características da instrumentação a ser utilizada e quais normas devem ser seguidas para assegurar a qualidade das medições (IEEE, 2017).

O método B, segregação das perdas, descrito na seção 3.1, foi o principal a ser utilizado neste trabalho para gerar resultados com o programa assistente de ensaios. Outros métodos também foram utilizados, porém apenas com a finalidade de verificação.

Para melhor compreensão das seguintes seções cabem as seguintes definições de grandezas medidas durante os testes:

- Grandezas elétricas: Corrente, tensão, potência elétrica, frequência da tensão de alimentação, distorção harmônica total (THD) da tensão e resistência elétrica.
- Grandezas mecânicas: Torque, rotação, potência no eixo (também utilizado usualmente como carga ou potência de saída).

3.1 MÉTODO B

Este método descreve como determinar o rendimento do motor de indução com segregação de perdas e com medição indireta de perdas suplementares.

O método B é dividido nos seguintes testes:

- Medição de resistências a frio: com o motor em temperatura ambiente são medidas as resistências dos enrolamentos do estator. A temperatura em que foram feitas as medições a frio também é verificada para posterior correção do valor de resistência em outras temperaturas.
- Teste de temperatura: consiste em acionar o motor com tensão e carga (potência de saída) nominal até que a temperatura estabilize (variação de menos de um grau Celsius em meia hora) e com o ambiente mantido na mesma temperatura do teste de resistência a frio. Uma vez estabilizada a temperatura, são medidas novamente as resistências de cada fase.
- Teste de carga: em temperatura de operação, o motor é posto a operar em diferentes pontos de carga, variando de 150% da carga nominal até 25%. A norma recomenda no mínimo seis pontos igualmente espaçados, incluindo o ponto de 100% de carga. Os valores das grandezas elétricas e mecânicas são salvos para cada ponto. O valor da temperatura também deve ser medido para cada ponto. De maneira mais prática, é possível medir a temperatura média pela resistência antes e depois do teste.
- Teste a vazio: o motor é desacoplado da carga e acionado com tensões gradualmente reduzidas desde 125% do valor nominal até o ponto em que se verifique um aumento da corrente, medindo as grandezas elétricas em cada ponto. Novamente a resistência é medida.

A resistência medida diretamente no primeiro teste permite a determinação das perdas joule no estator em cada ponto dos testes de carga e em vazio. No teste em vazio são separadas as perdas no ferro e mecânicas, cujos valores são considerados aproximadamente constantes durante o teste de carga. No teste de carga, medem-se as perdas joule no rotor e, por exclusão a partir da potência de saída, as perdas suplementares. O rendimento é então determinado pela equação (2.4).

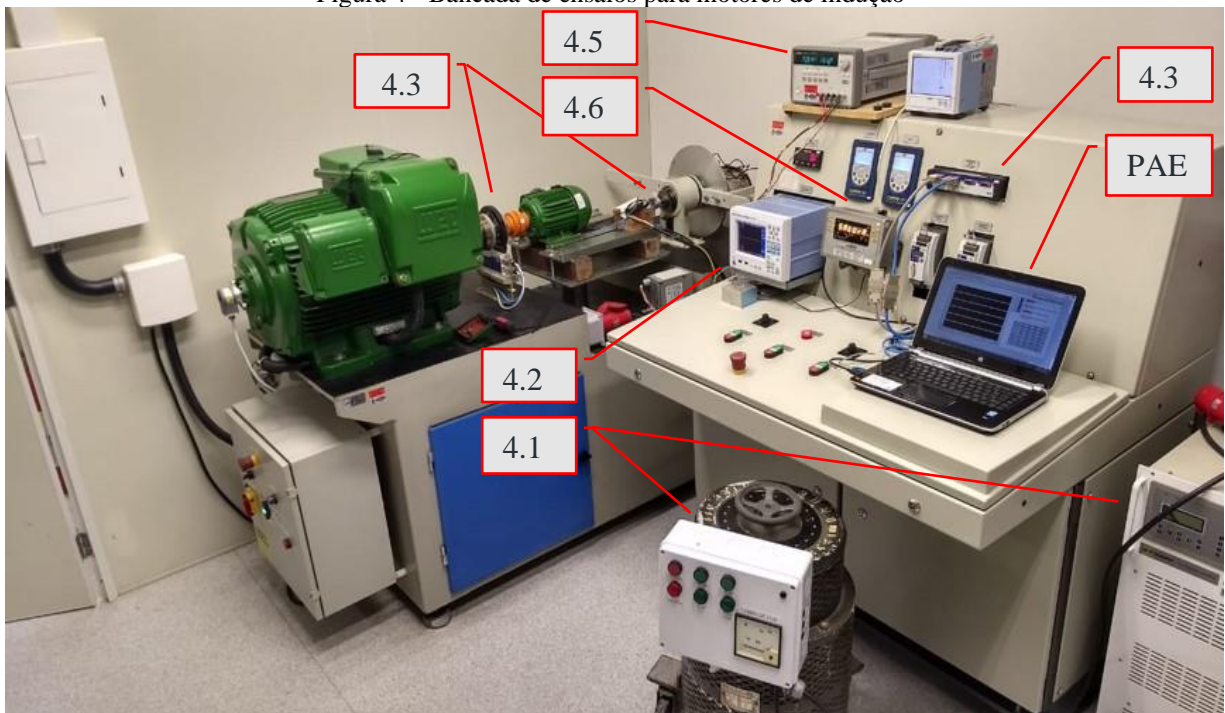
De acordo com a norma, o uso do método A, método direto descrito pela equação (2.3), deve ser limitado a máquinas de potência nominal menor que 0,75 kW. Para as demais máquinas com potência nominal entre 0,75 kW e 300 kW o método B é recomendado. Somente quando a instalação de teste não tem a capacidade de realizar testes pelo método B, a norma recomenda os métodos alternativos para cada tipo de necessidade.

Por conta desta recomendação, os testes realizados na bancada apresentada na seção 4 em motores de indução trifásicos são majoritariamente realizados utilizando o método B.

4 A BANCADA DE ENSAIOS

O foco deste trabalho foi a automatização da bancada de teste de motores de indução vista na Figura 4, localizada no Laboratório de Máquinas e Acionamentos elétricos do departamento de engenharia elétrica da UFSC. Ela é dividida em duas partes: uma para testes em motores grandes (de até de 20 cv), e uma parte para testes em motores pequenos (2 cv ou menos). A diferença está no método de aplicar carga, em que para motores grandes se utiliza outra máquina acionada por um inversor de frequência, e para motores pequenos se utiliza um disco de Foucault (freio eletromagnético).

Figura 4 - Bancada de ensaios para motores de indução



Fonte: (AUTOR, 2019)

Os números indicados na imagem correspondem às subseções a seguir que abordarão cada instrumento. A seta com a sigla PAE indica o computador com o programa assistente de ensaios.

A bancada era composta, inicialmente, de instrumentos instalados de maneira independente, ficando sob encargo do operador a leitura e a operação de aquisição dos dados de maneira manual. Após um primeiro momento, a equipe do laboratório desenvolveu um programa para conexão com dois dos instrumentos, que serviu de base para este trabalho.

4.1 ALIMENTAÇÃO

Na bancada existem duas possibilidades de acionar o motor. A primeira é por meio de um *varivolt* ou, para casos mais específicos onde é preciso maior controle sobre a tensão, é utilizada uma fonte eletrônica trifásica disponível no laboratório. Visto na parte inferior da Figura 4 estão o *varivolt* e a fonte eletrônica trifásica.

O *varivolt* é um método robusto de acionamento ligado diretamente na rede. A tensão é aumentada gradualmente até que atinja o valor nominal do motor. Após atingido, pode-se comutar a alimentação do motor diretamente para a rede. A desvantagem deste método é a dependência direta da qualidade da energia da rede.

A fonte eletrônica trifásica permite um maior controle sobre a tensão de alimentação do motor. Como exemplo, existem funções de rampas de aceleração e de desaceleração, com controle de tensão sobre cada fase de maneira isolada. Com isso, ela supre a necessidade de alimentação para casos especiais onde o motor é alimentado com uma frequência diferente da rede. O ponto que deve ser considerado sobre a fonte é a complexidade de operação. O operador deve conhecer as limitações e as proteções existentes na fonte para evitar algum acidente durante os testes.

4.2 ANALISADOR DE POTÊNCIA

O analisador de potência é o instrumento que indica os valores e características das grandezas elétricas. O modelo utilizado na bancada é o Yokogawa WT500, Figura 5, que é geralmente utilizado para medições em sistemas monofásicos ou trifásicos. O manual do produto indica as configurações de ligação para cada caso específico de medição (YOKOGAWA, 2008).

Figura 5 - Analisador de potência Yokogawa WT500



Fonte: (YOKOGAWA, 2020)

A ligação para a medição de tensão é feita de maneira direta, conectando sondas de tensão diretamente aos bornes do motor. Para a medição de corrente são utilizados transformadores de corrente (TCs), como o visto na Figura 6. Os motores de indução causam um pico de corrente ao serem energizados. Portanto o emprego dos TCs é necessário para a proteção do sistema de medição devido à capacidade de corrente do analisador (valor de pico de 100 A ou 45 A RMS).

Figura 6 - Transformador de corrente Brasformer BCS 03



Fonte: (BRASFORMER, 2020)

O analisador oferece três possibilidades de interface: Ethernet, USB ou GP-IB. Como primeira alternativa, foi utilizada a conexão USB, que mostrou ser eficiente para o envio dos valores numéricos das grandezas elétricas.

4.3 MÓDULO DE AQUISIÇÃO

O instrumento utilizado para fazer a aquisição das grandezas mecânicas na bancada é o quantumX MX440B, visto na Figura 7.

Figura 7 - Módulo de aquisição MX440B



Fonte: (HBM, 2020)

Em testes de motores grandes são utilizados o transdutor de torque HBM T40B e um encoder magnético para medir a rotação. Para testes em motores pequenos, um sensor de captação Dynapar series 54Z é utilizado para medir a rotação em uma roda dentada que está fixada junto ao disco de Foucault.

O software CatmanAP é necessário para configurar os transdutores escolhidos a serem utilizados com o módulo. Essas configurações são necessárias para o módulo interpretar de maneira correta os sinais elétricos provenientes destes sensores. O módulo também possui um sistema de reconhecimento de transdutores já configurados. Então, caso sejam realocados para uma porta diferente, o sistema imediatamente reestrutura a aquisição de dados para a nova conexão. Isso se deve por haver uma memória embarcada no conector do transdutor (HBM, 2016).

O software CatmanAP também é utilizado para realizar as configurações de rede do módulo (mudança de endereço de IP, visão geral das conexões na rede etc.) e pode realizar medições e aquisições de sinais. Posteriormente, os arquivos contendo as informações das medições ou aquisições podem ser exportados em diferentes formatos, tais quais o EXCEL (.xlsx) e ASCII (.csv, .tsv).

O módulo oferece uma porta Ethernet para interface.

4.4 MULTÍMETRO DIGITAL

O multímetro é utilizado para a medição de resistência das bobinas do estator. O modelo utilizado é o Agilent 34410A, visto na Figura 8.

O equipamento é configurado para medição a quatro fios e é conectado diretamente nos bornes do motor através de um comutador. O procedimento de medição foi desenvolvido pelos membros do laboratório nos esforços de facilitar o processo de medições (AURICH, 2018). O sistema com o comutador serve para fazer a aquisição dos valores da resistência de cada bobina de maneira ágil e sequencial.

Figura 8 - Multímetro digital Agilent 34410A



Fonte: (KEYSIGHT, 2020)

O multímetro oferece três possibilidades para interface: Ethernet, USB e GP-IB, (AGILENT, 2012).

4.5 FONTE DE CORRENTE CONTINUA

A fonte de corrente contínua também é utilizada para medição de resistências quando o multímetro não está disponível. A fonte utilizada na bancada é a Keysight E3632A, vista na Figura 9.

Figura 9 - Fonte corrente contínua Keisight E 3662A



Fonte: (KEYSIGHT, 2020)

A maneira de medir resistência com a fonte é diferente do multímetro: é preciso configurar o limite superior de corrente e o limite superior de tensão. Assim quando a fonte é conectada ao motor, o valor da corrente fica estabelecido no limite superior e a tensão se ajusta de acordo com a resistência. Com os valores de tensão e corrente se calcula o valor da resistência. O método de medição também é a quatro fios, e se faz uso do comutador.

A fonte disponibiliza duas opções de interface: Serial RS-232 e GP-IB, (KEYSIGHT, 2014).

4.6 INDICADOR DE PESAGEM

O indicador de pesagem é utilizado em testes de motores pequenos e serve para medir o torque do motor acoplado ao disco de Foucault através de uma célula de carga AEPH type S. O modelo utilizado na bancada é o Alfa 3100C, visto na Figura 10.

Figura 10 - Indicador de pesagem Alfa 3100C



Fonte: (ALFA INSTRUMENTOS, 2020)

As configurações de aquisição podem ser feitas diretamente no dispositivo. É importante realizar a rotina de calibração ao testar um motor.

O indicador apresenta duas possibilidades de interface: Serial RS-232 e Serial RS-485, (ALFA INSTRUMENTOS, 2013).

4.7 CONEXÃO ENTRE INSTRUMENTOS E O COMPUTADOR

A integração da bancada de ensaios foi executada de acordo com a disponibilidade de equipamentos existentes no laboratório. Assim, alguns dos cabos e conectores foram feitos ou empregados estudando os padrões elétricos para cada conexão. A exemplo da necessidade de fazer o cabo de transmissão, o sensor de rotação Dynapar series 54Z precisou ser utilizado com o módulo MX440B para que fosse possível a aquisição dos dados de velocidade quando utilizado o disco de Foucault.

A compatibilidade entre sensor e módulo pode ser vista nos manuais de cada componente, como visto no APÊNDICE A – Conexão entre módulo MX440B e o sensor Dynapar serie 54Z.

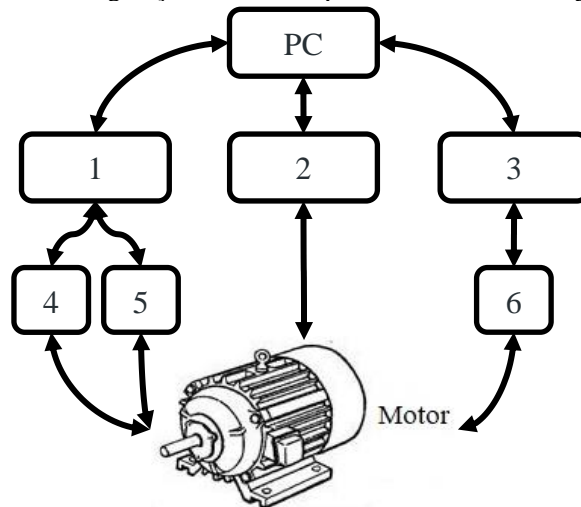
A configuração resumida das conexões entre os instrumentos e o computador pode ser visto na Figura 11 para motores grandes, que utilizam o motor de indução acionado com um inversor para o controle de torque, e na Figura 12 para motores pequenos, que utilizam o disco de Foucault.

Os itens listados nas imagens são: 1-Módulo de aquisição HBM MX440B; 2-Analisador de potência Yokogawa WT500; 3-Multímetro digital Agilent 34410A ou fonte de corrente contínua Keysight E3632A; 4-Transdutor de torque HBM T40B; 5-Encoder do motor; 6- Comutador para medição de resistências; 7-Indicador de pesagem Alfa 3100C; 8-Sensor de rotação Dynapar series 54Z; 9-Célula de carga AEPH type S.

Para testes em motores grandes, o motor a ser testado é acoplado no eixo do motor de indução da bancada. O analisador de potência é utilizado para medir tensão e corrente, o módulo de aquisição para torque e rotação e o multímetro para as resistências.

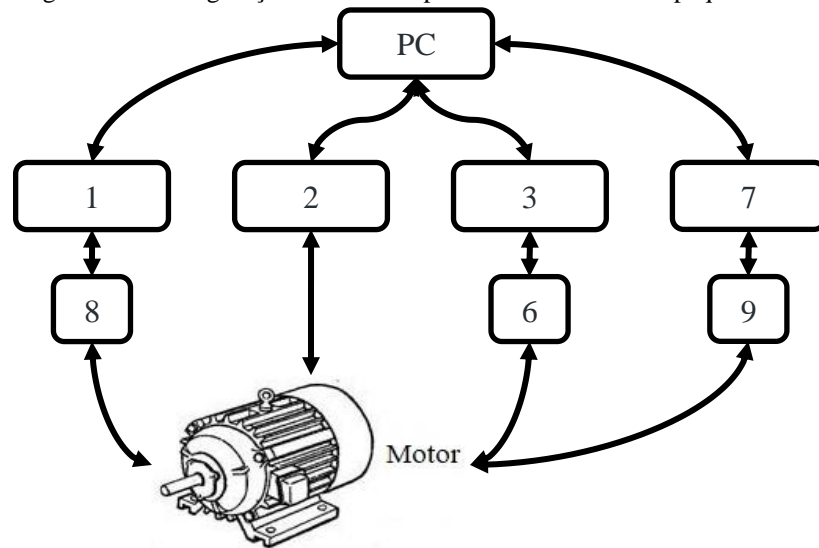
Para testes em motores pequenos, o motor a ser testado é acoplado no eixo do disco de Foucault. O analisador de potência é utilizado para medir tensão e corrente, o módulo de aquisição para rotação, o indicador de pesagem para a aquisição de torque e o multímetro para as resistências.

Figura 11 - Configuração da bancada para testes em motores grandes



Fonte: (AUTOR, 2020)

Figura 12 - Configuração da bancada para testes em motores pequenos



Fonte: (AUTOR, 2020)

Independentemente do método de carregamento utilizado, a bancada é capaz de medir as grandezas elétricas e mecânicas necessárias para cada teste, em motores trifásicos ou monofásicos, e assim, obter as características do motor de acordo com o método utilizado da norma. Na seção seguinte serão apresentadas com mais detalhes as conexões entre o computador e cada um dos instrumentos.

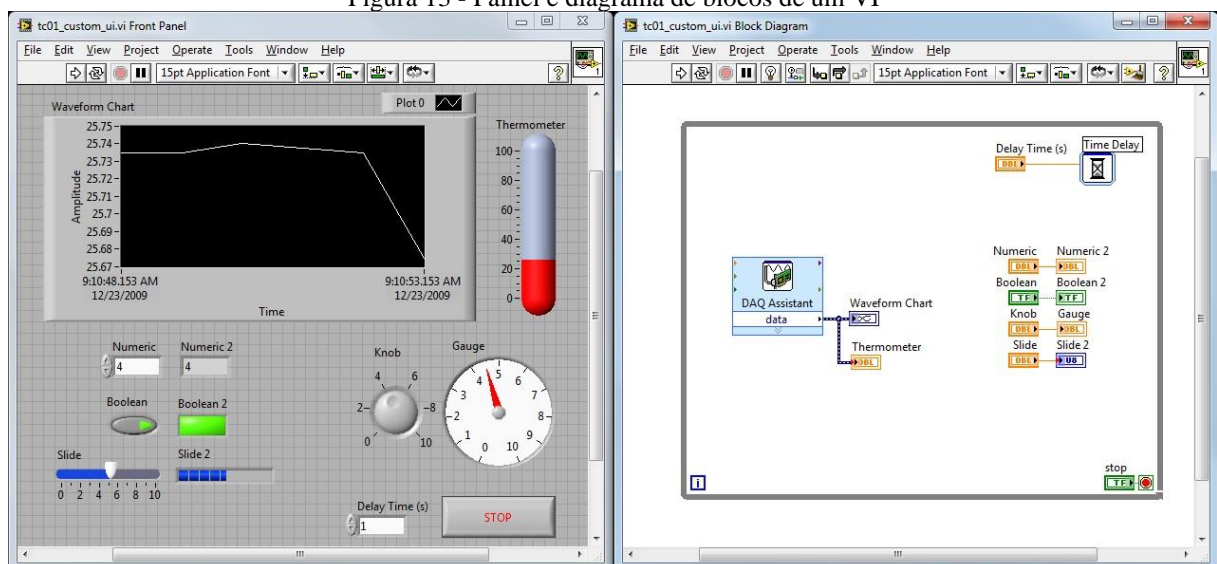
5 A PLATAFORMA LABVIEW

O LabVIEW é uma linguagem de programação gráfica, ou seja, a programação é feita por blocos de funções e o fluxo de dados dentro do programa é feito por fios que conectam um bloco de função ao outro. Este modelo de programação torna a programação de tarefas complexas mais fácil e intuitiva, mesmo para quem não possui experiência com programação. É importante notar a facilidade com que a plataforma permite implementar execução paralela de atividades (BOTTARO, 2012). Outra vantagem, é a participação ativa da comunidade em fóruns, que por sua vez oferece documentação extensiva sobre funcionalidades e maneiras de implementar conceitos abstratos de programação.

A plataforma é voltada e amplamente utilizada para criar sistemas de aquisição de dados, que integrem o computador com instrumentos e placas de aquisição. Isso se deve à aplicabilidade e às rotinas nativas de comunicação.

Os programas feitos em LabVIEW são chamados de instrumentos virtuais (VI) por se assemelhar com instrumentos reais na maneira como podem ser controlados os ajustes e configurações do programa na interface de usuário. Pode-se dividir a interface de programação em duas partes: uma interface de usuário que se assemelha à interface de um instrumento de medição com mostradores e botões, e a interface de programação onde existe o código do programa. Estes são chamados de Painel e Diagrama de Blocos, respectivamente, como visto na Figura 13.

Figura 13 - Painel e diagrama de blocos de um VI



Fonte: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2016)

Existem várias maneiras de realizar a comunicação entre um instrumento de medição e o computador. De maneira geral, são verificadas as portas de comunicação disponíveis para

cada aparelho, que indicam o padrão elétrico de ligação (como ligar os fios entre o computador e o instrumento). Cada tipo de padrão elétrico pode ter um ou mais padrões de comunicação (como a informação é enviada, recebida e interpretada pelo computador ou pelo instrumento). No ambiente da computação, cabe ao programador determinar como o computador vai interpretar essas mensagens recebidas e como vai montar as mensagens de envio ao instrumento (padrão de comunicação). Felizmente, existem blocos de códigos prontos nas mais diversas linguagens de programação para realizar estas comunicações. A plataforma LabVIEW conta com diversas bibliotecas de funções dos mais variados tipos de padrões.

5.1 A COMUNICAÇÃO ENTRE O LABVIEW E OS INSTRUMENTOS

O modelo de programa de comunicação consiste normalmente em três partes: o bloco de início de comunicação, o bloco de tarefa (onde existe o código para realizar as funções do instrumento) e o bloco de encerramento de comunicação. A complexidade do bloco de tarefas pode variar de acordo com o tipo de função que o instrumento oferece ou com o tipo de tratamento ao qual se deseja condicionar os dados adquiridos.

As comunicações existentes na bancada podem ser observadas no Quadro 1. Estas conexões estão representadas pelas setas que conectam o bloco PC aos blocos enumerados para cada instrumento apresentado na Figura 11 e na Figura 12.

Quadro 1 - Interfaces de comunicação utilizadas para cada conexão

PC - MX440B	Conexão por interface Ethernet
PC - WT500	Conexão por interface USB
PC - 34410A	Conexão por interface USB
PC - E3632A	Conexão por interface Serial RS-232
PC - 3100C	Conexão por interface Serial RS-232

Fonte: (AUTOR,2020)

Cada um dos três tipos de conexão tem as suas características. Para complementar o entendimento de cada interface é apresentada em seguida um resumo de como funcionam.

5.1.1 PC - MX440B

Para conectar o computador ao módulo, utiliza-se a interface Ethernet disponível na parte posterior do equipamento, como visto na Figura 14. Para computadores mais antigos é preciso utilizar um cabo Ethernet com *crossover*. Nos computadores atuais, a placa de rede realiza essa função de maneira digital. O cabo *crossover* ou cabo cruzado é um cabo de rede de pares trançados em que os fios nas duas pontas do cabo são conectados de forma a ligar o pino

transmissor ao pino receptor. O cabo crossover é utilizado para interligar dois componentes de mesma camada de rede (dois computadores).

Figura 14 - Conexão entre o computador e o módulo MX440B

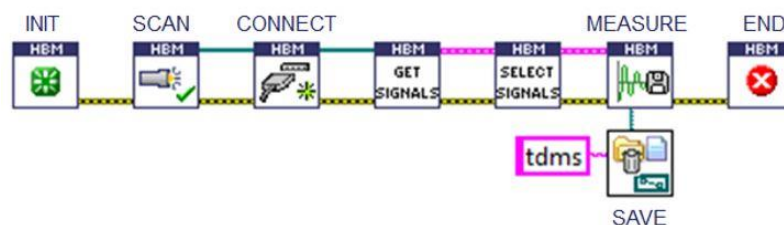


Fonte: (HBM, 2016)

O fabricante do módulo oferece drivers para aplicações em diferentes linguagens de programação. Estes drivers são baseados na HBM common API. Uma API (Interface de Programação de Aplicações) é conjunto de rotinas e padrões de programação que uma produtora de software estabelece a fim de liberar funcionalidades de seu produto para que outros produtores de *software* possam desenvolver produtos associados aos seus serviços, ou seja, permite que duas aplicações possam conversar entre si utilizando funcionalidades uma da outra. Um exemplo disso pode ser um aplicativo de corrida que monitora a distância percorrida e faz uso da API do Google Maps (GOOGLE, 2020), (HBM, 2019) e (HBM, 2016).

Para o caso deste trabalho foi utilizado o LabVIEW driver / library. Nestas bibliotecas são implementadas as funções de inicializar, abrir e fechar interface, inicializar e configurar o módulo etc. Um exemplo de programa genérico que implementa uma rotina de medição pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 - Rotina genérica de aquisição de dados para o módulo MX440B



Fonte: (HBM, 2016)

O primeiro bloco representa a inicialização e a checagem da licença da API. O segundo bloco faz uma varredura da LAN (*Local Area Network*, Rede local) e detecta os instrumentos

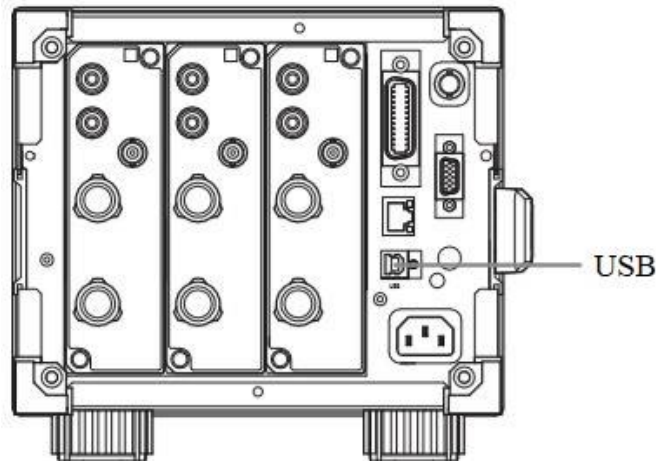
HBM conectados a ela. O terceiro bloco faz a conexão com o instrumento desejado. O quarto bloco faz a varredura dos sinais de medição existentes no instrumento. O quinto bloco seleciona os sinais desejados para a aquisição. O sexto bloco realiza a aquisição dos sinais selecionados e os salva em um arquivo e o sétimo bloco encerra o uso da API e encerra a comunicação com o equipamento.

Para que o programa realize múltiplas aquisições é preciso inserir o sexto bloco dentro de um laço de repetição. É de costume se utilizar um laço *while* pela facilidade com que a plataforma LabVIEW permite programar a condição de parada.

5.1.2 PC – WT500

Para conectar o computador ao analisador de potência é utilizada a interface USB tipo B disponível na parte posterior do equipamento, como visto na Figura 16.

Figura 16 - Conexão entre o computador e o analisador de potência WT500



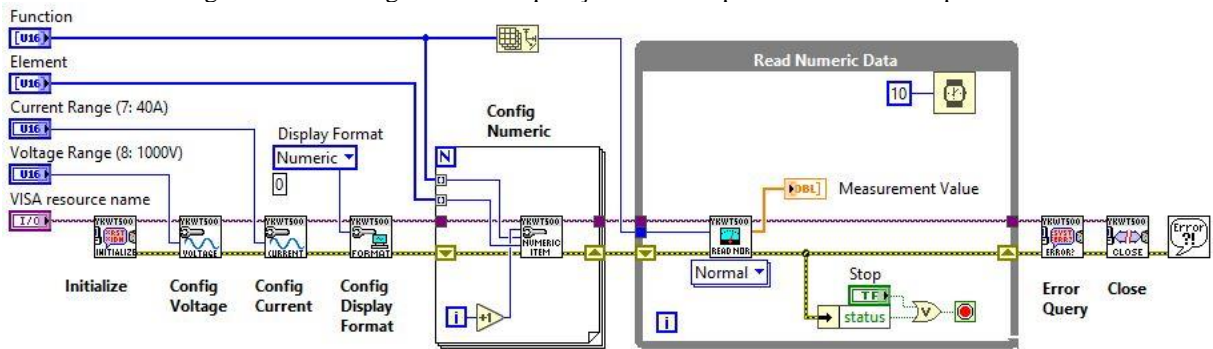
Fonte: Adaptado de (YOKOGAWA, 2017)

O fabricante do analisador de potência disponibiliza um *driver* publicado pela National Instruments que cria aplicações em LabVIEW. Este *driver* utiliza a API disponibilizada pela biblioteca TMCTL para realizar a conexão entre o computador e instrumento. Essa API inclui todas as funções de conectividade, configuração e rotinas de leitura e escrita na memória do instrumento similar ao descrito na seção PC - MX440B.

Para utilizar a interface USB é preciso instalar no computador o driver USB da National Instruments. Este *driver* é geralmente instalado juntamente com o NI-VISA e tem o nome de: “USB Test and Measurement Class Device driver” (YOKOGAWA, 2008), (YOKOGAWA, 2020), (YOKOGAWA, 2017) e (YOKOGAWA, 2020).

A rotina de aquisição em LabVIEW para o WT500 possui a mesma estrutura da lógica do módulo MX440B.

Figura 17 - Rotina genérica de aquisição de dados para o analisador de potência



Fonte: (AUTOR, 2020)

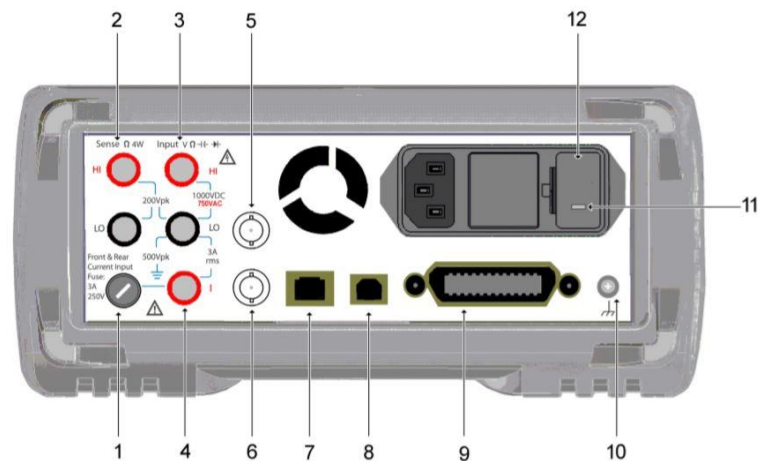
Na Figura 17 pode ser vista a rotina de aquisição de valores numéricos do analisador de potência. O primeiro bloco é para se conectar ao instrumento diretamente com o endereço da porta de comunicação utilizada não sendo preciso inserir as configurações da conexão.

Do segundo ao quinto bloco são inseridas as configurações de medição como mostrado na legenda de cada bloco. O sexto bloco está dentro de um laço de repetição *while* para realizar aquisições contínuas. A cada vez que o laço repete a execução o valor da variável *Measurement Value* é atualizado. Quando a condição de parada do laço é atendida (o botão *stop* é pressionado) o sistema vai para o sétimo bloco, que é destinado a tratar os erros internos do aparelho. O oitavo bloco encerra a comunicação e por fim trata os erros do código.

5.1.3 PC - 34410A

Para conectar o computador ao multímetro digital é utilizada a interface USB tipo B disponível na parte posterior do equipamento, representada pela porta de número 8, como visto na Figura 18.

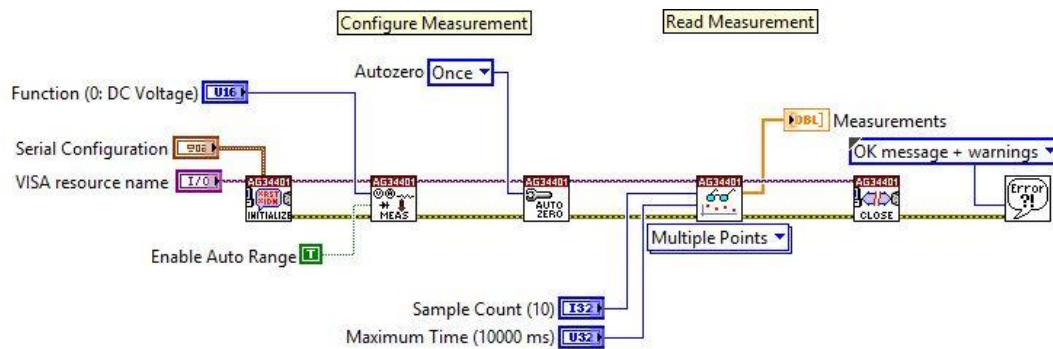
Figura 18 - Conexão entre o computador e o multímetro digital 34410A



Fonte: (AGILENT, 2012)

O fabricante do multímetro disponibiliza um driver publicado pela National Instruments que serve para criar aplicações em LabVIEW. A funcionalidade do driver é descrita como *plug-and-play*, ou seja, uma vez instalado, basta utilizar um dos exemplos disponibilizados pelo fabricante juntamente com as bibliotecas de função e o modificar de acordo com as especificações do projeto. Um exemplo de rotina de aquisição para o 34410A pode ser visto na Figura 19.

Figura 19 - Rotina genérica de aquisição de dados para o multímetro digital



Fonte: (AUTOR,2020)

Na Figura 19 é mostrado o programa de conexão e aquisição das leituras do multímetro. O primeiro bloco realiza a conexão com o instrumento, onde é inserido o endereço da porta utilizada e os parâmetros da comunicação serial. O segundo e o terceiro bloco são responsáveis pela configuração da aquisição, sendo o segundo responsável por inserir a função do multímetro (leitura de tensão, corrente ou resistência), a resolução (quantidade de dígitos) e o *range* (a faixa de medição do instrumento). A opção *Autozero* serve para realizar uma medição com maior precisão. Ao deixar esta opção ativa o instrumento desconecta internamente o sinal de entrada e realiza uma medição em zero, em seguida reconecta o sinal de entrada e realiza a medição, sendo o valor final da medição o valor do sinal menos o valor em zero, eliminando assim o ruído eletrônico do equipamento. Existem três opções: *Autozero off*, ou desligado (não realiza a medição em zero antes da medição), *Autozero on* ou ligado (realiza uma medição em zero antes de cada medição e aumenta a qualidade das medições e o tempo de medição) e a opção *Autozero once* (realiza uma medição em zero e utiliza este valor medido para todas as medições posteriores até que se mude alguma outra configuração).

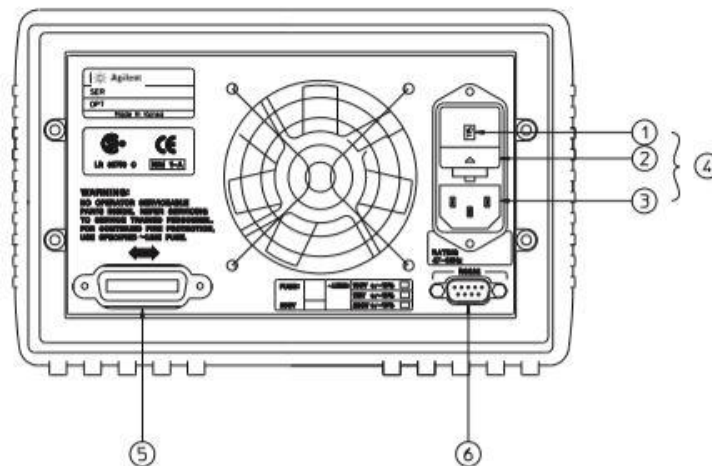
O quarto bloco contém o comando para executar a medição, neste caso múltiplas medições (o usuário pode escolher quantos pontos desejar). É importante notar que para que o programa realize aquisições continuamente, é preciso colocar este bloco dentro de um laço *while*, assim o valor da variável “*Measurements*” será atualizado a cada repetição do laço enquanto a condição de saída do loop não for atendida.

O quinto bloco encerra a comunicação com o equipamento e o sexto bloco trata erros que ocorreram durante a execução do código.

5.1.4 PC - E3632A

Para conectar o computador à fonte de corrente contínua é utilizada a interface Serial RS-232 disponível na parte posterior do equipamento, representada pela porta de número 6, como visto na Figura 20.

Figura 20 - Conexão entre o computador e a fonte de corrente contínua E3632A

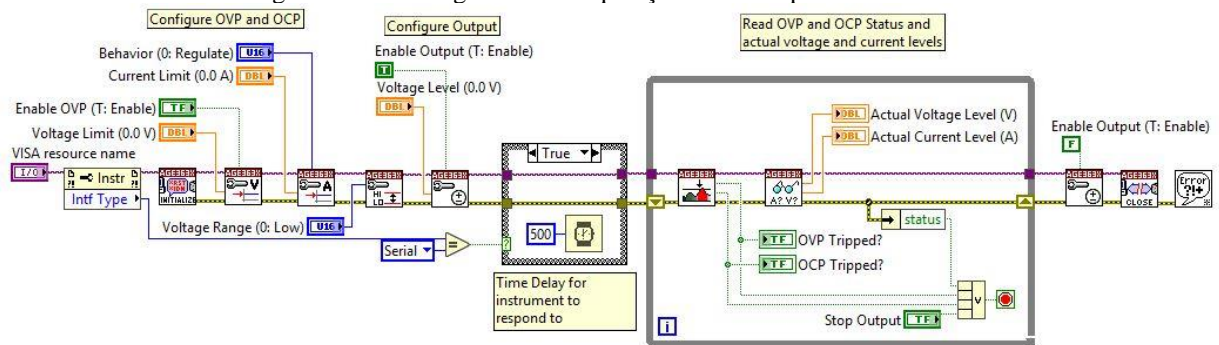


Fonte: (KEYSIGHT, 2014)

O fabricante da fonte de corrente contínua disponibiliza um driver publicado pela National Instruments que serve para criar aplicações em LabVIEW. Este driver possui as mesmas características do driver do multímetro digital. Mas para o caso da fonte, é preciso um cabo RS-232 e um adaptador RS-232/USB pois este é um padrão antigo e os computadores modernos não possuem a interface (KEYSIGHT, 2014). O procedimento para a confecção do cabo pode ser visto no APÊNDICE B – Procedimento para confecção de cabo para comunicação Serial RS-232.

A operação do instrumento não é modificada pelo uso do adaptador, mas, no programa, é preciso configurar a rotina de aquisição com os parâmetros da conexão como mostrado na Figura 21.

Figura 21 - Rotina genérica de aquisição de dados para a fonte DC



Fonte: (AUTOR, 2020)

A Figura 21 apresenta uma rotina genérica para aquisição de dados da fonte de corrente contínua. O primeiro bloco realiza a conexão com instrumento, onde é inserido o endereço da porta utilizada. Os parâmetros da comunicação serial são configurados por padrão, mas podem ser alterados neste bloco. No segundo bloco é configurado o limite de tensão da fonte e a proteção por sobretensão, e no terceiro, o limite de corrente assim como o comportamento da fonte para sobrecorrente (ao atingir o limite de corrente configurado a fonte pode acionar a proteção ou regular a corrente pelo limite). No quarto bloco é inserida a faixa de tensão (15 V ou 30 V). No quinto bloco é acionada a saída da fonte e configurado o valor de tensão desejado.

Conforme o tipo de conexão, a adição de um tempo morto é necessária entre as configurações e a rotina de aquisição. Neste caso a interface serial é utilizada, portanto a condição serial é atendida e existe um tempo morto de 0,5s.

O sexto e o sétimo bloco estão dentro de um laço de repetição *while* para realizar aquisições contínuas. O sexto bloco verifica o estado das proteções, encerrando o laço caso alguma tenha sido ativada. A cada vez que o laço repete a execução, os valores das variáveis “*Actual Voltage Level*” e “*Actual Current Level*” são atualizados. Quando a condição de parada do laço é atendida (o botão “*stop*” é pressionado) o sistema segue para o oitavo bloco, que desliga a saída da fonte. Em seguida, o nono bloco encerra a comunicação e os erros do código são tratados.

5.1.5 PC - 3100C

Para conectar o computador ao indicador de pesagem é utilizada a interface Serial RS-232 disponível na parte posterior do equipamento, indicado na parte superior esquerda da Figura 22. Assim como a fonte de corrente contínua, é preciso um cabo RS-232 e um adaptador RS-232/USB.

Figura 22 - Conexão entre o computador e o indicador de pesagem 3100C

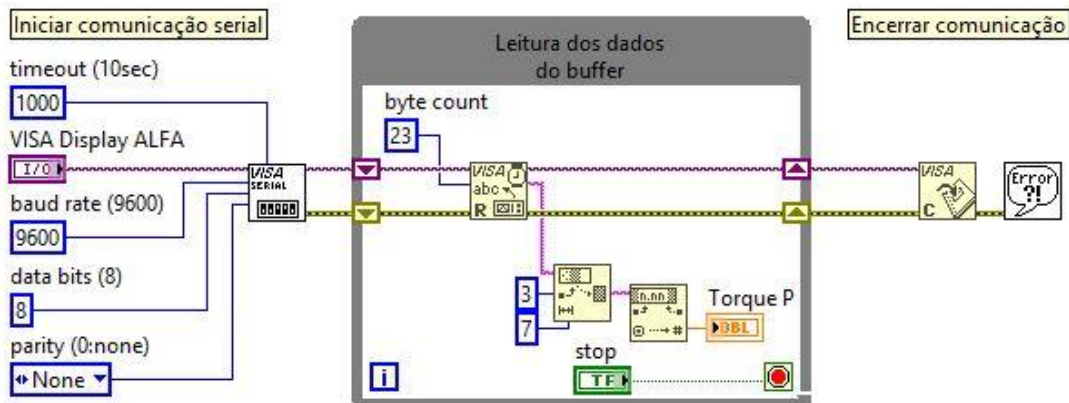


Fonte: (ALFA INSTRUMENTOS, 2013)

O fabricante não disponibiliza driver para LabVIEW, assim, é necessário implementar a conexão utilizando os conhecimentos sobre o padrão de conexão e o protocolo escolhido.

O indicador foi configurado para comunicação através da porta RS-232 com transmissão contínua de dados. Isso indica que não foi preciso configurar uma comunicação de mestre/escravo (necessário para comunicações Modbus pela porta serial RS-485) e nem programar as funções de aquisição, e sim uma simples rotina de leitura dos dados existentes no registro do *buffer* de memória (ALFA INSTRUMENTOS, 2013), como visto na Figura 23.

Figura 23 - Rotina de aquisição de dados do indicador de pesagem



Fonte: (AUTOR, 2020)

A Figura 23 apresenta a rotina de aquisição de dados do indicador de pesagem alfa. O primeiro bloco realiza a conexão serial com o instrumento e são inseridos os parâmetros das comunicações e o endereço da porta de comunicação. O segundo bloco está dentro de um laço de repetição *while* para realizar aquisições contínuas. Este bloco acessa o *buffer* na memória onde são armazenados os valores recebidos pelo instrumento, e a cada repetição do laço atualiza

o valor da variável “Torque P” para o valor atual existente no *buffer*. O terceiro bloco encerra a conexão após a condição de parada e posteriormente os erros gerados são tratados.

O modo de transmissão contínua é realizado de forma a sempre transmitir o valor indicado no *display* do instrumento para o computador. Este método mantém os controles do instrumento disponíveis para mudanças de configuração, portanto esses elementos não foram implementados no programa.

5.2 ESPECIFICAÇÃO DE PROGRAMA

Ao se desenvolver um programa de computador é preciso ter em mente quais as funcionalidades desejadas para poder escolher um modelo de *design*. Isso implica em seguir as regras do modelo escolhido a fim de executar a lógica proposta.

O conceito de *design* foi inicialmente introduzido para padronizar a maneira como programas são feitos, criando um padrão reutilizável e que soluciona problemas de código que ocorrem constantemente no desenvolvimento de software. Assim se pode esperar um programa uniforme quando elaborado por um grupo de pessoas, evitando que alguém construa uma parte do programa sem seguir as diretrizes definidas inicialmente pelo *design* escolhido (SNIVELY, 2017).

Outra vantagem de se utilizar um *design* é a facilidade de entender o funcionamento do programa e como as soluções foram implementadas uma vez que se tem conhecimento das diretrizes utilizadas. Assim “*bugs*” e outros problemas relacionados às rotinas podem ser encontrados com mais facilidade durante a fase de validação.

Durante o desenvolvimento do programa assistente de ensaios se constatou a necessidade de modificar o modo de construir o código para evitar problemas durante a execução. Ao conectar todos os instrumentos, houve conflitos entre as rotinas e os valores não estavam sendo exibidos corretamente nos indicadores. Dessa forma, foi preciso utilizar um método específico para realizar a conexão simultânea de todos.

A maneira padrão de realizar tal conexão é inserir os códigos apresentados nas seções 5.1.1 até 5.1.5 para cada instrumento dentro de um único laço *while*. O problema existente com tal solução é que se houver algum problema durante a execução de um dos blocos, o programa inteiro travará. Isto acontece pois o laço *while* somente irá para a próxima iteração quanto todas as entradas forem atualizadas.

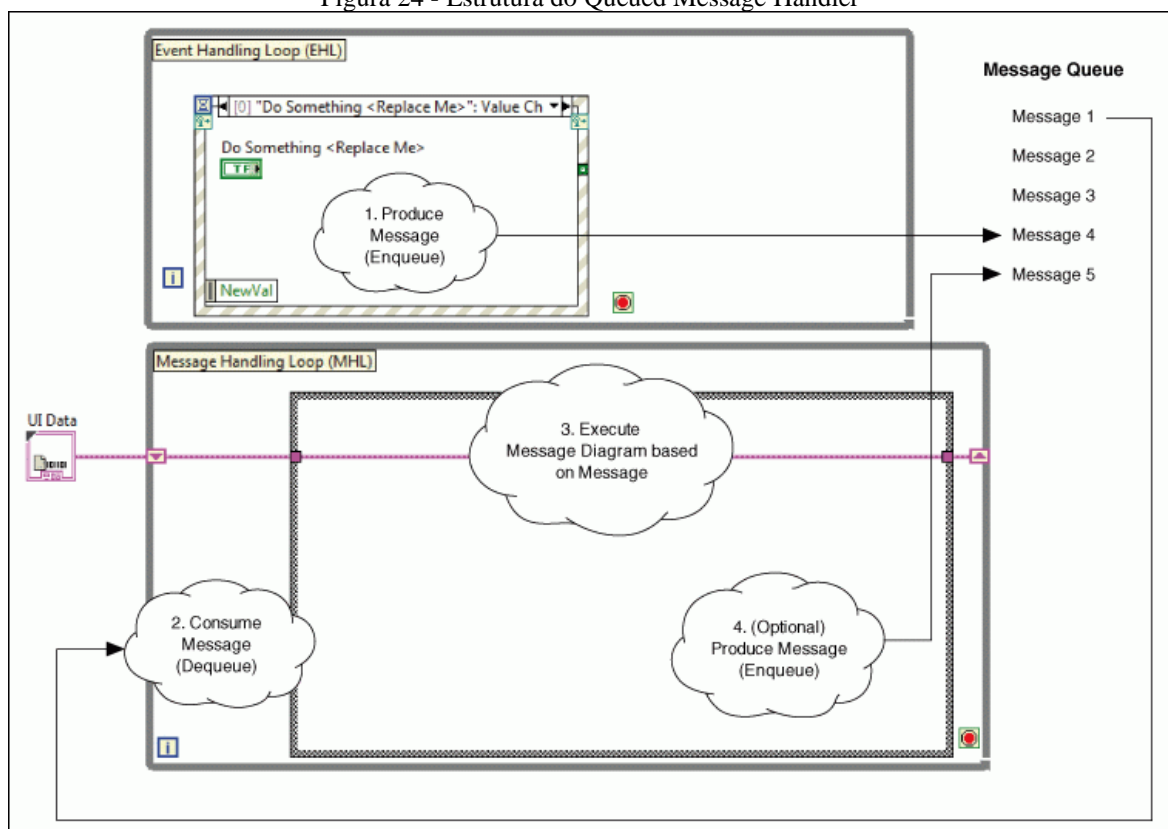
Com o novo método, cada instrumento possui um laço próprio. Desta maneira, pôde-se evitar conflitos durante a execução entre os instrumentos.

5.2.1 Queued Message Handler

O *Queued Message Handler* (QMH) é originado da implementação de um *design* de produtor/consumidor e um *message handler* (tratador de mensagens). O programa fica dividido em duas partes: uma que produz mensagens de acordo com eventos gerados na interface do usuário (EHL – *Event Loop Handler*), e uma parte que consome as mensagens e executa a ação requerida pelo EHL (MHL – *Message Handler Loop*), (ALLDREDGE, 2019) e (NATIONAL INSTRUMENTS, 2017). No caso do Instrumento Virtual do LabVIEW, a interface do usuário é o Painel. Outro termo para designar a parte gráfica de um programa onde o usuário interage com botões e caixas de diálogo é chamado de GUI (Graphical User Interface).

Na Figura 24 se observa como o *design* funciona. Primeiramente é produzida uma mensagem no EHL de acordo com um evento (um clique de botão no painel, por exemplo), em seguida essa mensagem vai para uma fila (*Queue*) ocupando o último lugar. Conforme as mensagens são consumidas, o MHL executa o código da função ao qual a mensagem está relacionada. Uma vez executada, a mensagem é removida da fila.

Figura 24 - Estrutura do Queued Message Handler

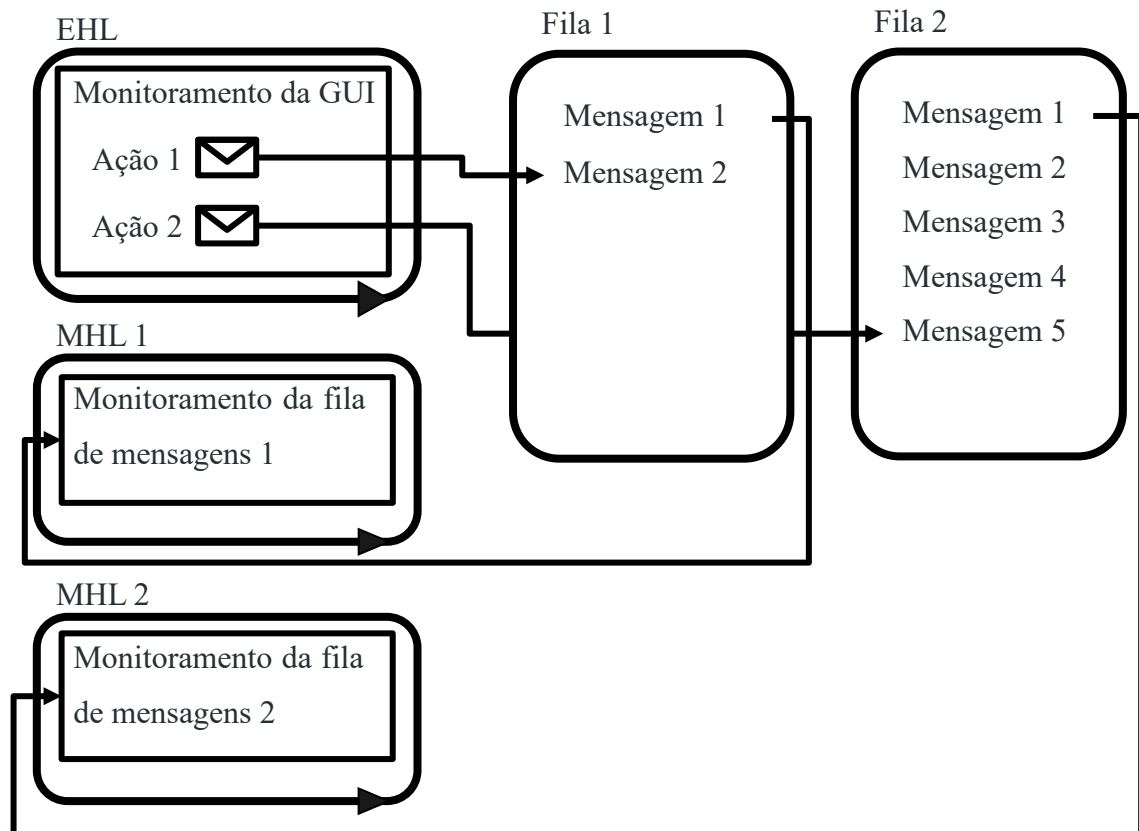


Fonte: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2017)

Este *design* ainda permite que o MHL adicione mensagens na fila. Assim o próprio programa pode executar mais de uma função quando é necessário que o código execute tarefas seguidas. O esquemático do *design* que foi utilizado para este trabalho pode ser visto na Figura 25.

O MHL 1 pode representar o *message handler* referente ao analisador de potência, o MHL 2 pode representar o *message handler* referente ao módulo de aquisição. Para os demais instrumentos o modelo se segue como o apresentado. Assim um MHL 3 representaria o *message handler* referente ao multímetro, um MHL 4 representaria o *message handler* referente à fonte de corrente contínua, um MHL 5 representaria o *message handler* referente ao indicador de pesagem e, finalmente, um MHL 6 para representar o *message handler* referente ao laço onde são implementadas as rotinas de aquisição para os instrumentos e também as rotinas de exportação de dados.

Figura 25 - Implementação do QMH em um programa com os instrumentos



Fonte: (AUTOR, 2019)

De maneira geral, dentro de cada MHL existem rotinas de início e encerramento da conexão com o instrumento, de aquisição dos valores das grandezas medidas e de mudanças nas configurações de aquisição ou medição. É importante ressaltar que cada MHL possui uma

fila própria, logo é preciso seis filas diferentes para o programa funcionar. Uma solução viável é criar uma variável (Type def em linguagem LabVIEW) que represente o conjunto de filas e cada uma como um elemento dentro desta variável.

Com o QMH é possível sincronizar a aquisição de dados dos instrumentos da bancada e conectar quantos instrumentos forem precisos para os testes sem comprometer o funcionamento do programa. Caso ocorra alguma falha de comunicação entre o computador e o instrumento, o programa continuará funcionando normalmente sem o perigo de perda de aquisições feitas anteriormente, bastando somente refazer a conexão com o instrumento como será apresentado na seção 6.1.

6 PROGRAMA ASSISTENTE DE ENSAIOS

O programa para assistência de ensaios foi criado devido à necessidade de se aperfeiçoar o procedimento para testes em motores de indução. As funcionalidades consistem em conectar o computador aos instrumentos da bancada apresentada na seção 4, realizar a leitura dos valores medidos de maneira cíclica através dos instrumentos e oferecer a possibilidade de salvá-los em uma tabela para posterior exportação e tratamento dos dados.

Nesta seção são apresentadas em detalhes as rotinas implementadas no código do programa bem como os aspectos do funcionamento e da interface de usuário.

6.1 INTERFACE DE USUÁRIO

A interface foi programada para ser de mínima complexidade e intuitiva para um novo usuário. Ao abrir o programa, é apresentada a janela inicial onde são inseridos os dados de placa do motor a ser testado nos campos correspondentes (marca, potência, fator de potência, rotação, categoria e rendimento) e o botão de opção de escolha entre motor grande ou motor pequeno como mostrado na Figura 26, que define o dinamômetro a ser usado. Esta janela se encontra na aba “configurações” juntamente com as abas de conexão com os instrumentos.

Figura 26 - Página inicial da interface de usuário

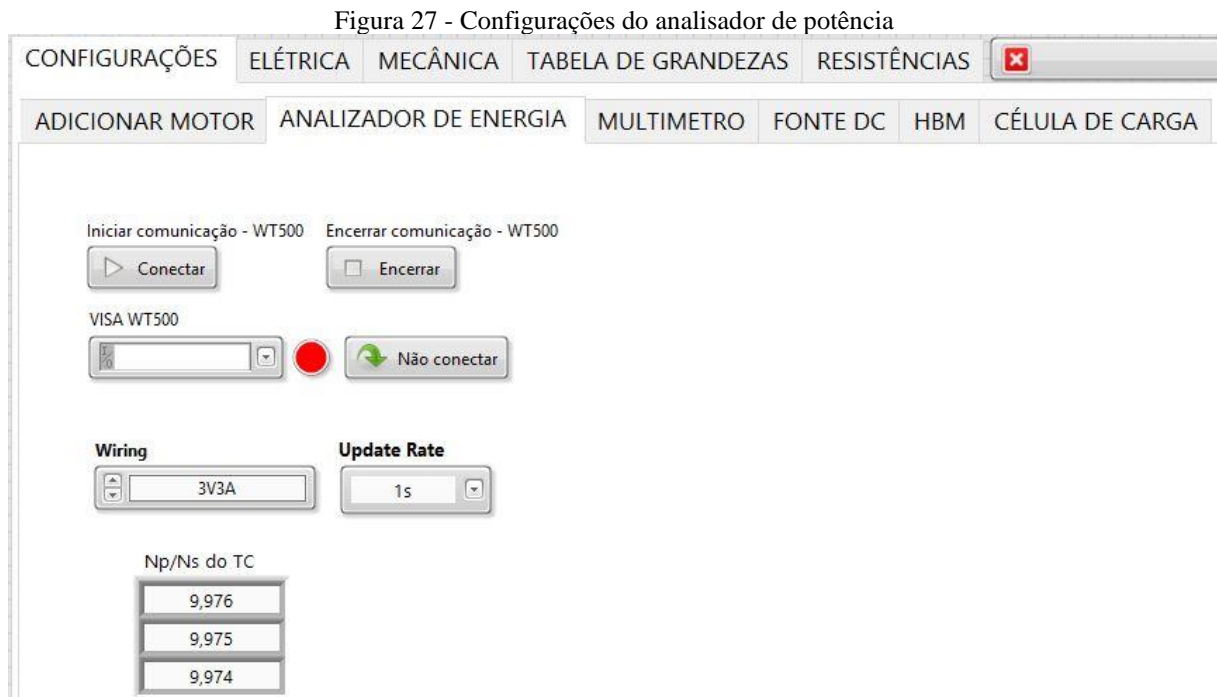
Fonte: (AUTOR, 2020)

Após inseridos os dados de placa do motor e escolhido seu tipo ao clicar em “Atualizar” os dados são carregados no programa.

Uma vez inseridos os dados, é preciso configurar os instrumentos utilizados durante o teste, de acordo com os diagramas apresentados pela Figura 11 e pela Figura 12 da seção 4.7.

Cada instrumento da bancada possui a sua aba de conexão onde são inseridos os parâmetros da comunicação e as configurações pertinentes.

A Figura 27 mostra a janela de configuração do analisador de potência. No campo “Visa WT500” é inserido o endereço da porta de comunicação utilizada pelo instrumento. Após inserido, quando pressionado o botão “Conectar” é efetivada a conexão com o equipamento de acordo com os blocos descritos na seção 5.1. Se o endereço for o correto o indicador vermelho ficará verde e o instrumento será conectado. Caso se opte por não conectar, é pressionado o botão “Não conectar”.



Fonte: (AUTOR,2020)

As configurações relevantes para o analisador de potência podem ser vistas nos três campos da parte inferior da imagem. O campo “*Wiring*” representa o modo como a ligação física de medição de tensão e corrente foi feita. O campo “*Update Rate*” representa a taxa de atualização dos valores numéricos medidos e o campo “*Np/Ns do TC*” representa a relação de transformação dos transformadores de corrente utilizados na bancada, como descritos na seção 4.2.

A Figura 28 mostra a janela de configuração do multímetro digital. O procedimento de conexão é o mesmo do analisador de potência, sendo assim, no campo “Visa multímetro” é inserido o endereço da porta de comunicação utilizada, e o restante dos botões possuem as mesmas funções.

Figura 28 - Configurações do multímetro

Fonte: (AUTOR, 2020)

O campo “Quantidade de amostras” indica quantos valores serão salvos durante uma rotina de aquisição do multímetro para cálculo da média. O campo “Tempo de integração em (PLC)”¹ significa o tempo em que o circuito de medição do multímetro demora para realizar a medição. O campo “Resolução manual” indica a quantidade de casas decimais utilizadas, ou seja, quanto maior o valor da resolução, mais preciso é o valor adquirido. O campo “Range manual” indica a faixa de medição do instrumento. Quando o botão “Resolução automática” está ativo (verde com escrita AUTO) não é preciso configurar os valores da faixa de medição e de resolução.

A Figura 29 mostra a janela de configuração para a conexão da fonte de corrente contínua. O procedimento é similar ao analisador de potência e ao multímetro.

¹ A sigla PLC significa *Power Line Cycle*. Ao determinar o valor de um sinal de corrente contínua (DC), muitas vezes existe algum ruído proveniente da linha de energia induzido pela corrente alternada (AC). A integração do sinal DC em um ou mais ciclos da linha de potência ajuda a rejeitar este ruído. No caso de o sistema elétrico brasileiro ter a frequência elétrica de 60Hz, cada ciclo de rede demora aproximadamente 0,016s. Portanto para realizar a aquisição das seis amostras, como mostrado na figura, o multímetro demora 0,1s.

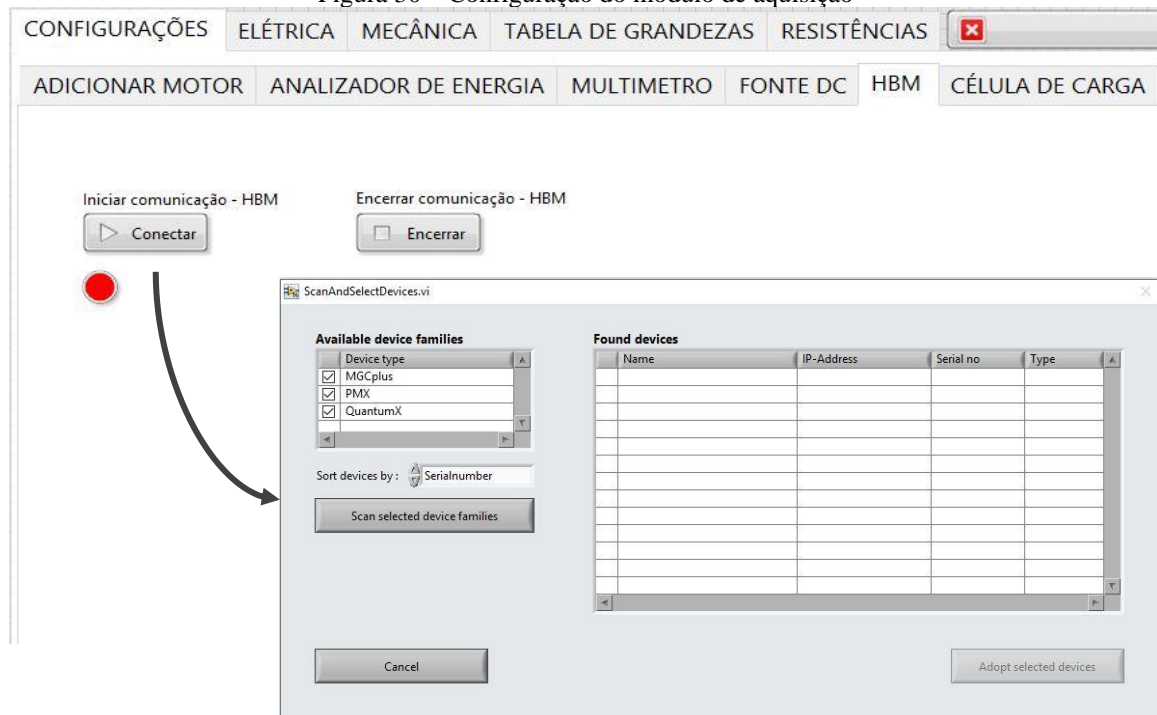
Figura 29 - Configurações da fonte de corrente contínua



Fonte: (AUTOR, 2020)

A Figura 30 mostra a janela de configuração para a conexão com o módulo de aquisição MX440B. Este procedimento é um pouco diferente dos demais por utilizar interface ethernet. Após apertar o botão “Conectar” uma janela para seleção de equipamentos da marca HBM aparece na tela. Nesta janela é selecionada a família do equipamento a ser escaneado e ao apertar o botão “*Scan selected devices families*”, uma lista de todos os equipamentos HBM conectados na rede local irá aparecer na tabela “*Found devices*”. Uma vez selecionado o módulo de aquisição é preciso acionar o botão “*Adopt selected devices*”, assim a conexão é estabelecida.

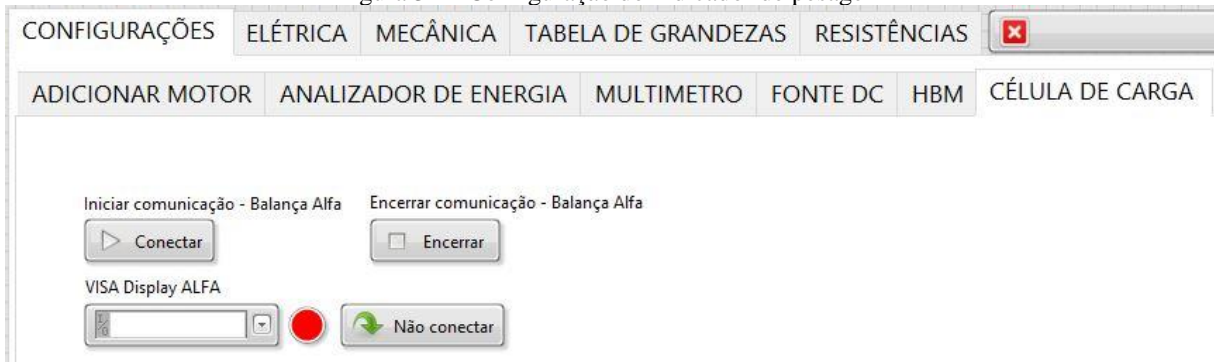
Figura 30 – Configuração do módulo de aquisição



Fonte: (AUTOR, 2020)

A Figura 31 mostra a janela de configuração para a conexão do indicador de pesagem. O procedimento é similar aos demais instrumentos que utilizam a interface serial ou USB.

Figura 31 – Configuração do indicador de pesagem



Fonte: (AUTOR,2020)

A aba “Elétrica”, mostrada na Figura 32, contém as informações relevantes das grandezas elétricas do motor a ser testado compilando os dados adquiridos do analisador de potência. Ainda existem algumas opções de configuração do instrumento como a faixa de medição do instrumento, lista das grandezas adquiridas em ordem e indicadores das tensões e correntes nas três fases do motor. Também foi adicionado um indicador para poder acompanhar o rendimento em tempo real.

Figura 32 - Janela de grandezas elétricas



Fonte: (AUTOR,2020)

A utilização da norma IEEE 112 requer que certos critérios de qualidade de energia sejam atendidos para a alimentação do motor. Estes critérios são:

- THD: o método utilizado pela norma para o cálculo deste fator indica a distorção harmônica total com relação à componente fundamental. O cálculo não precisou ser implementado no programa uma vez que este valor é obtido do analisador de energia. O limite máximo estabelecido pela norma para este valor é de 5%. A equação (6.1)

representa a THD em %, em que H é o valor RMS da tensão de alimentação (V) e H_1 é o valor RMS da componente fundamental da tensão de alimentação (V).

$$THD = \frac{\sqrt{H^2 - H_1^2}}{H_1} 100\% \quad (6.1)$$

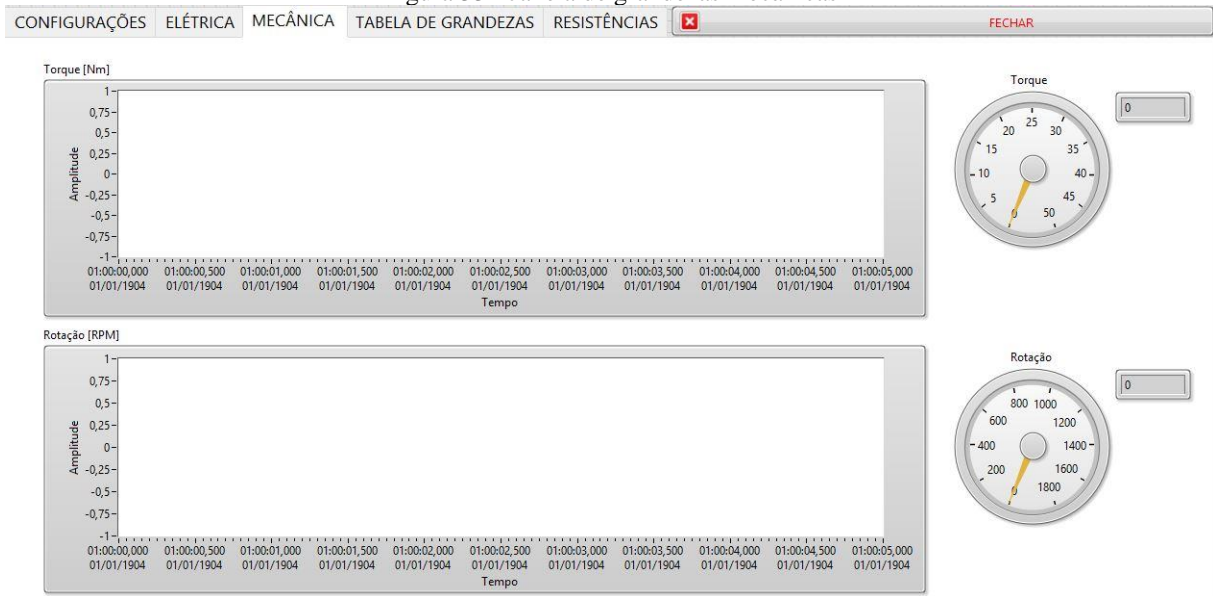
- Desbalanceamento de tensão: indica a homogeneidade das amplitudes das tensões de cada fase do motor. A norma estabelece um limite máximo de 0,5% para esta grandeza. Primeiramente se calcula o desvio de cada fase para a média das tensões. O valor máximo é então dividido pela média e multiplicado por 100 para obter o valor em porcentagem. Por exemplo, se um motor é alimentado em tensão trifásica com 220 V, 215 V e 210 V em cada fase, a média é 215 V e o desvio é de 5 V. Dividindo o desvio pela média se obtém o valor 0,023, que quando multiplicado por 100 resulta em 2,3%. Neste caso o valor é acima do máximo estabelecido pela norma e alguma medida de balanceamento deveria ser adotada para aproximar as tensões entre as três fases. A equação (6.2) apresenta o desbalanceamento da tensão de alimentação do motor em %, em que $D_{m\acute{a}x}$ é o desvio máximo de tensão para a média (V) e V_m é a tensão média entre as três fases (V).

$$Desbalanceamento = \frac{D_{m\acute{a}x}}{V_m} 100\% \quad (6.2)$$

- Desvio de frequência: a norma determina que a frequência da tensão de alimentação deve estar entre $\pm 0,1\%$ do valor nominal para o motor. Variações rápidas de frequência não devem exceder 0,33% da frequência nominal da tensão.

A Figura 33 apresenta a aba de grandezas mecânicas que contém os gráficos da evolução do torque e velocidade no tempo bem como dois indicadores que mostram seus valores médios no último segundo. É possível modificar os valores de escala dos gráficos para facilitar a visualização.

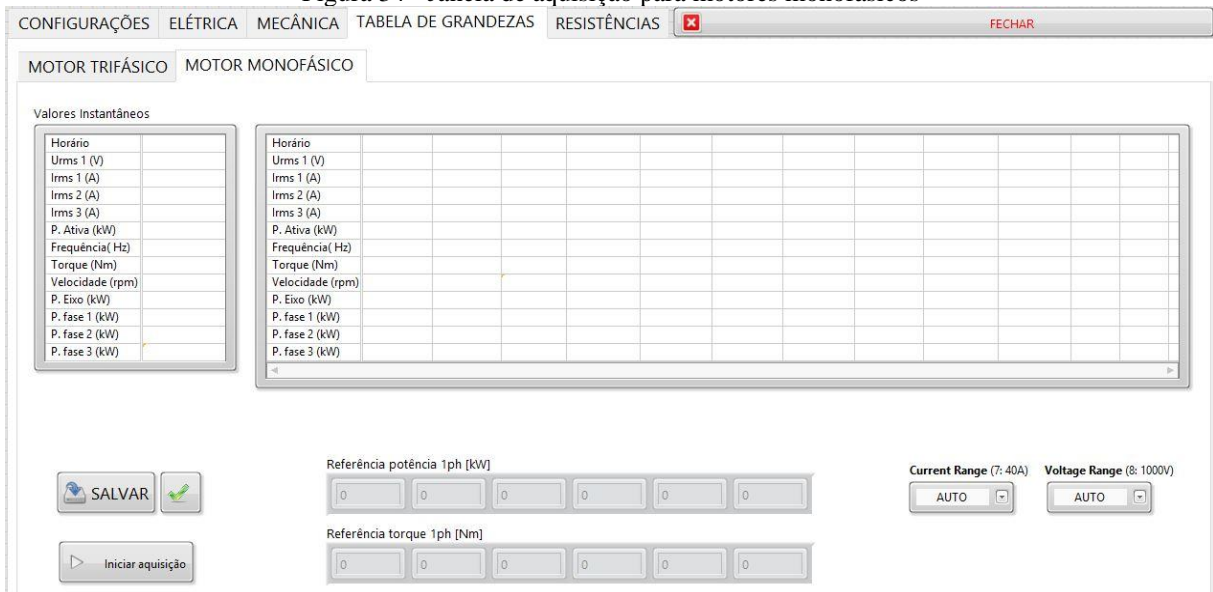
Figura 33 - Janela de grandezas mecânicas



Fonte: (AUTOR, 2020)

A aba “Tabela de grandezas”, apresentada na Figura 34 e na Figura 35, possui duas partes: uma para motores trifásicos e uma para motores monofásicos. Ambas as partes possuem as mesmas funcionalidades, exceto as diferentes grandezas apresentadas na tabela de valores instantâneos. Estes valores são exibidos de acordo com a relevância para seus respectivos testes de acordo com o método B da norma IEEEE 112 para motores polifásicos e da norma IEEEE 114 para motores monofásicos.

Figura 34 - Janela de aquisição para motores monofásicos



Fonte: (AUTOR, 2020)

Figura 35 - Janela de aquisição para motores trifásicos

The screenshot shows a software interface for motor data acquisition. At the top, there are tabs for 'CONFIGURAÇÕES', 'ELÉTRICA', 'MECÂNICA', 'TABELA DE GRANDEZAS', and 'RESISTÊNCIAS'. Below the tabs, there are two sub-tabs: 'MOTOR TRIFÁSICO' (selected) and 'MOTOR MONOFÁSICO'. The main area contains two tables with the following columns: 'Horário', 'Urms (V)', 'Irms (A)', 'P. ativa (kW)', 'Freq. (Hz)', 'Torque (Nm)', 'Velocidade (rpm)', 'P. eixo (kW)', and 'Rendimento (%)'. To the right of the tables, there is a 'SALVAR' button with a green checkmark icon, and an 'Iniciar aquisição' button with a play icon. Below these buttons are two columns of input fields for 'Ref. pot. 3ph [kW]' and 'Ref. tor. 3ph [Nm]', each with six '0' values. At the bottom right, there are two dropdown menus: 'Current Range (7: 40A) 2' set to 'AUTO' and 'Voltage Range (8: 1000V) 2' set to 'AUTO'. A 'FECHAR' button is visible in the top right corner.

Fonte: (AUTOR, 2020)

O primeiro passo para começar a aquisição de dados é pressionar o botão “Iniciar aquisição”. Ao ser pressionado o botão muda de forma, passando a ter uma cor amarelada e texto “Adquirindo”. Este botão faz com que as grandezas medidas pelos instrumentos sejam apresentadas na tabela menor (valores instantâneos) e atualizadas a cada ciclo do programa.

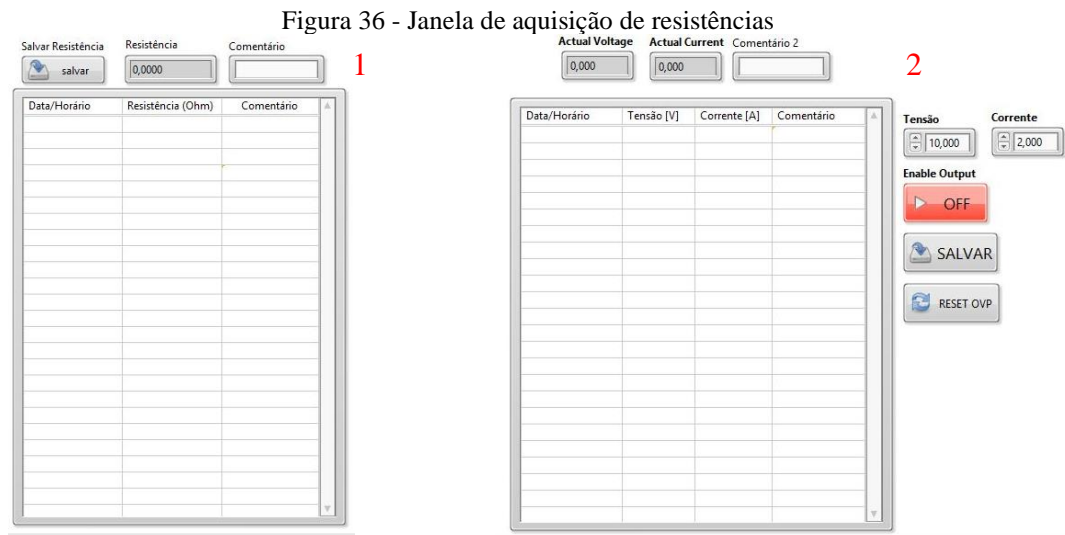
A tabela maior serve para apresentar os pontos salvos pelo usuário. Para salvar algum ponto é preciso pressionar o botão “Salvar”. Assim que os valores são salvos na segunda tabela, o sinal de “*check*”, visto ao lado direito do botão “Salvar”, irá brilhar em verde confirmando a aquisição do ponto desejado. Para pausar a aquisição é preciso pressionar novamente o botão “Adquirindo”.

Os dois campos nomeados “Referência de potência” e “Referência de torque” têm a função de auxiliar o usuário durante a aquisição dos pontos requeridos pela norma. Como apresentado na seção 3.1, para realizar o teste de carga é preciso submeter o motor a diferentes pontos de carregamento, começando em 150% da carga nominal até 25%. Estes campos apresentam os valores de referência de potência e torque para seis pontos distribuídos igualmente dentro desta faixa de potência, contendo os dois pontos extremos e o ponto de 100% de carga.

Visto que a incerteza das medições de tensão e corrente depende diretamente da escala utilizada pelo equipamento, existem dois campos para configuração rápida das faixas de medição de corrente e de tensão do analisador de potência. Estes campos são os mesmos

apresentados na aba “Elétrica”, e foram colocados novamente nas abas das tabelas de grandezas por uma questão de facilidade de operação.

Para a aquisição dos valores de resistência podem ser utilizados tanto o multímetro como a fonte de corrente contínua. Na janela “Resistências” existem duas abas, uma para cada instrumento de medição, que são apresentadas na Figura 36.



Fonte: (AUTOR, 2020)

A tabela indicada pelo número 1 representa a aba de medição do multímetro, onde existe apenas o campo “Comentário”, que serve para comentar o valor salvo, e o botão “Salvar” serve para salvar o valor instantâneo da resistência e o comentário na tabela.

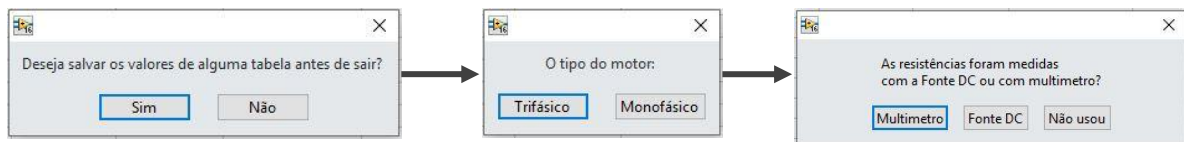
A tabela indicada pelo número 2 representa a aba de medição da fonte de corrente contínua. Pelo funcionamento da fonte esta aba possui mais botões e funções que o multímetro. Os campos “Tensão” e “Corrente” servem para configurar os valores de tensão de saída da fonte e a corrente de regulação (limite superior de corrente). Desta forma ao se utilizar a fonte para medir uma resistência baixa, a corrente ficará limitada em 2 A como mostra a figura, porém a tensão será de um valor menor que os 10 V configurados.

Para habilitar a saída da fonte é preciso pressionar o botão “Enable output”. Ao pressionar, o texto mudará de “Off” para “On” e a cor de vermelho para verde. Para desabilitar a saída da fonte basta pressionar novamente o botão “Enable output”. É importante lembrar que a saída da fonte não pode estar habilitada para retomar a aquisição das tabelas de grandezas. O botão “Reset OVP” (*Over voltage Protection*) funciona para liberar o funcionamento normal da fonte caso a proteção de sobretensão seja ativada. O botão “Salvar” e o campo “Comentário” funcionam igualmente ao multímetro.

Em ambos os casos, para poder realizar a aquisição de resistência é preciso estar com o botão “Iniciar aquisição” não pressionado, ou seja, o programa não pode estar adquirindo os valores instantâneos da janela “Tabela de grandezas”.

Ao encerrar o programa são abertas caixas de diálogo questionando sobre a intenção do usuário em salvar os valores das tabelas de grandezas e das tabelas de resistências. A Figura 37 mostra o diagrama de mensagens apresentadas. O tipo de motor utilizado reflete a tabela de grandezas (para motores monofásicos ou trifásicos) a ser salva bem como o método de medição de resistências (multímetro ou a fonte de corrente contínua). O arquivo é salvo em formato “.txt” no local de escolha do operador.

Figura 37 - Caixas de diálogo para salvar as tabelas ao encerrar o programa



Fonte: (AUTOR, 2020)

As informações contidas neste arquivo são:

- Data e horário de aquisição
- Resistências e comentários (Ω)
- Tensão média das três fases (V)
- Corrente média das três fases (A)
- Potência trifásica (W)
- Frequência da tensão da fase R (Hz)
- Torque (Nm)
- Rotação (rpm)
- Potência mecânica (W)
- Rendimento (%)
- Tensão de cada fase (R, S e T) (V)
- Corrente em cada fase (R, S e T) (A)
- Potência em cada fase (R, S e T) (W)
- Escala de tensão (Valor utilizado como fundo de escala para o analisador) (V)
- Escala de corrente (Valor utilizado como fundo de escala para o analisador) (A)
- Tipo de ligação do analisador de potência

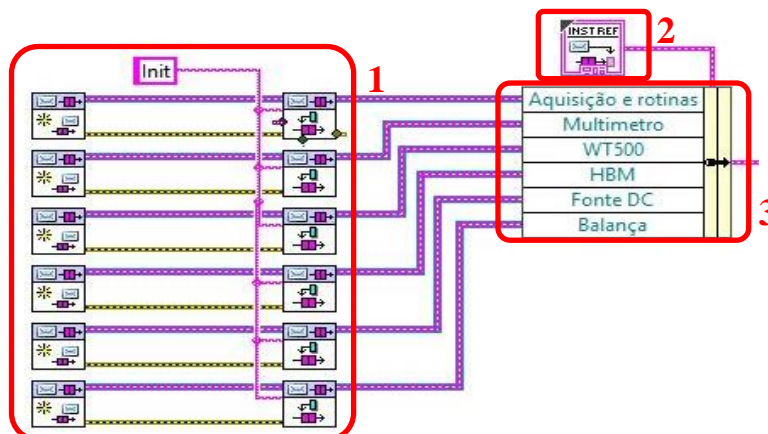
Os valores são salvos separados por tabulação e com um cabeçalho que indica qual tabela foi utilizada (monofásicos ou trifásicos). Cada coluna de valor possui um cabeçalho para saber quais são as grandezas caso for preciso verificar o arquivo texto. Os dados de placa do motor também são salvos.

6.2 DESIGN QML APLICADO AO PROGRAMA ASSISTENTE DE ENSAIOS

Esta seção é dedicada para comentar em detalhes o diagrama de blocos do código do programa em LabVIEW. Primeiramente será apresentada a implementação do QMH no programa e em seguida serão apresentados exemplos dos laços referentes ao EHL e ao MHL.

Para a implementação do QMH é preciso entender como funciona a lógica das filas (*queues*) aplicadas ao programa. Este é o principal ponto para a compreensão do funcionamento do design e como as tarefas são executadas paralelamente. Na Figura 38, apresenta-se o início do programa, onde são declaradas as filas.

Figura 38 - Estrutura de inicialização das filas



Fonte: (AUTOR,2020)

Indicado pelo número 1 está o bloco de inicialização das filas e a inserção de uma primeira mensagem em cada uma delas com o valor “Init”². O número 2 indica a variável (Type def) criada para este programa. Dentro desta variável existem as referências para as filas de cada um dos instrumentos e da rotina de aquisição e exportação. O número 3 indica uma função do LabVIEW chamada *Bundle by name* que tem por objetivo incluir todas as seis filas dentro de um único pacote, facilitando o uso das filas para cada MHL e deixando o diagrama com um aspecto mais organizado. A função *Unbundle by name* realiza a tarefa oposta, ou seja, ela retira

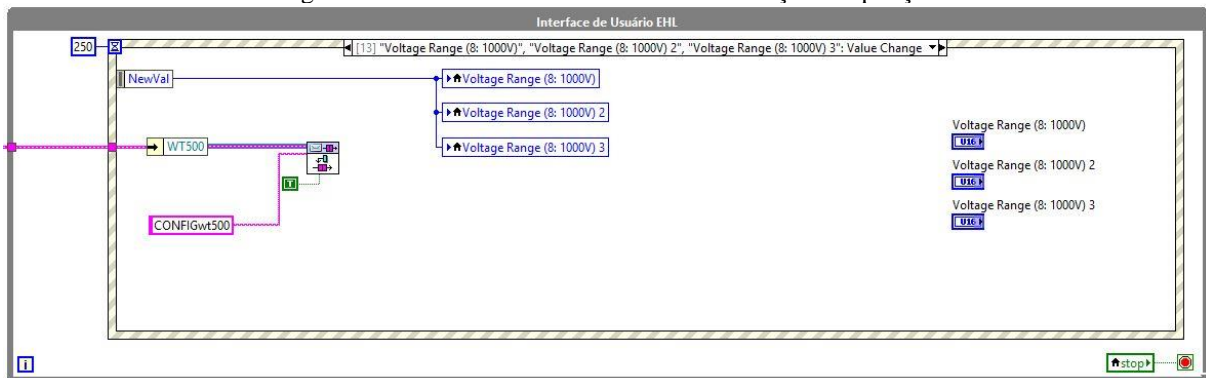
² A inserção de uma mensagem ao início não é necessária para o funcionamento do design. A função é inicializar as filas e colocar uma primeira mensagem que executará alguma rotina desejada ao começo do programa.

do pacote a fila desejada para a utilização. Estas duas funções podem ser entendidas como um agente organizador.

Cada mensagem inserida na fila é resultado de um evento gerado pela interface de usuário, como por exemplo pressionar o botão “Salvar”. O EHL é utilizado para monitorar estes eventos. Para cada evento gerado, existe uma mensagem a ser colocada na fila que quando recebida e interpretada pelo MHL executará a ação de acordo.

Na Figura 39 é apresentado o EHL implementado no programa. O funcionamento deste laço é caracterizado pelo uso de uma estrutura de eventos (*Event structure*) dentro de um laço *while*. O *Event structure* espera até que um evento ocorra, depois executa a ação apropriada para lidar com esse evento. Esta estrutura pode possuir um ou mais subdiagramas, exatamente um dos quais executa quando a estrutura é acionada. Esta estrutura pode ficar parada enquanto se espera pela notificação de um evento. Em outras palavras, a estrutura fica observando as variáveis do programa esperando que ocorra uma mudança de valor durante o tempo de um ciclo do laço *while*. No caso deste programa, foi configurado um intervalo de 250ms para cada execução, desta forma o programa entra em um estado ocioso. Esta é a chamada condição de *Timeout* (quando o tempo acaba executa a tarefa do subdiagrama), enquanto isso, caso a estrutura perceba a mudança de valor de alguma variável (evento) ela executa o subdiagrama devido.

Figura 39 - EHL com Estrutura de eventos e laço de repetição



Fonte: (AUTOR, 2020)

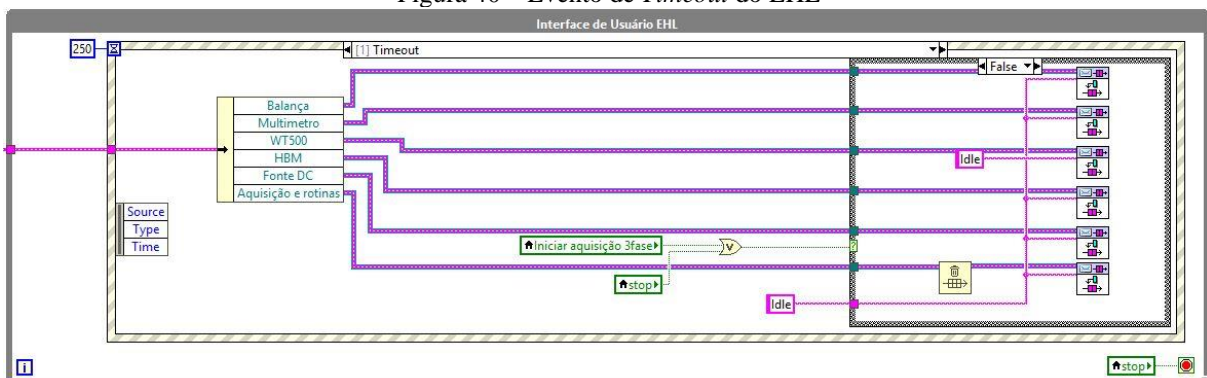
O subdiagrama do EHL apresentado está configurado para observar os valores das três variáveis “*Voltage Range*” no canto direito do diagrama. Estas são as variáveis responsáveis pela mudança da faixa de medição do analisador de potência e que estão presentes nas abas “Elétrica”, “Tabela de grandezas/Motor trifásico” e “Tabela de grandezas/Motor monofásico”. Quando ocorre uma mudança em qualquer uma dessas três variáveis, a estrutura de eventos percebe esta mudança e executa este subdiagrama. Para manter a coerência entre as três, é

utilizada a função “*NewVal*”, assim o novo valor é atribuído para as duas variáveis restantes. Ao final da execução as três variáveis irão possuir o novo valor.

Como esta é uma mudança nas configurações do analisador de potência, é preciso utilizar a fila deste aparelho. A função *Unbundle by name* extrai a fila requisitada do pacote anteriormente criado com a função *Bundle by name*. Em seguida é utilizado o bloco responsável por adicionar mensagens na fila assim como o indicado pelo número 1 na Figura 38. Esta mensagem será lida pelo MHL do analisador de potência que executará a ação configurada para a mensagem “CONFIGwt500”.

A condição de *Timeout* é necessária para criar um estado de programa ocupado ou de programa ocioso (*Idle*). A Figura 40 apresenta o diagrama *Timeout* dentro do EHL. Quando o programa está com algum dos botões “Iniciar Aquisição” ou “Fechar” pressionados, representados pelas variáveis “Iniciar aquisição 3fase” e “stop” respectivamente, o diagrama não adiciona nenhuma mensagem à fila, desta forma o programa está em estado de programa ocupado. Caso contrário, a mensagem “*Idle*” é adicionada à fila de todos os instrumentos para colocar o programa em estado ocioso.

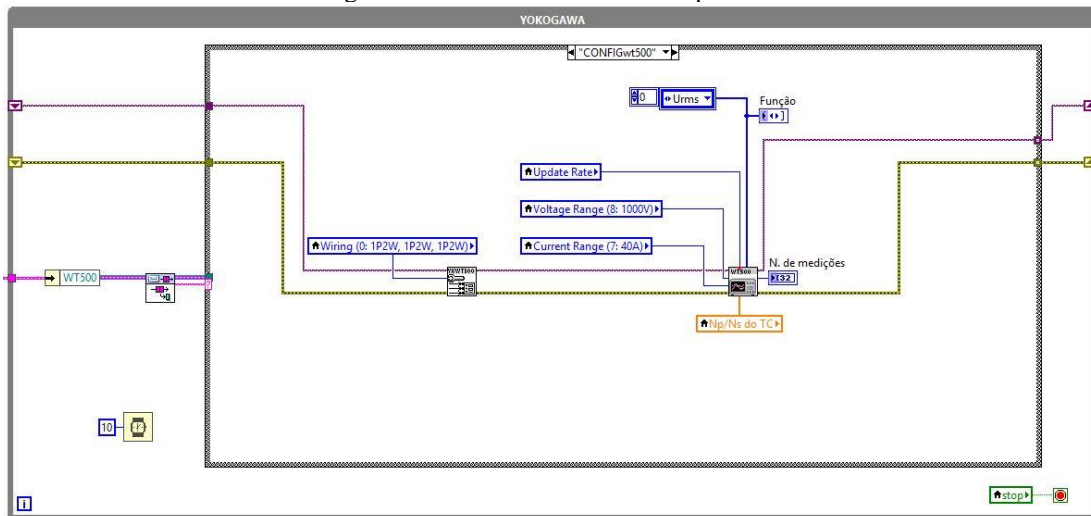
Figura 40 – Evento de *Timeout* do EHL



Fonte: (AUTOR, 2020)

A Figura 41 mostra a implementação do MHL do analisador de potência. O MHL é composto por uma estrutura de caso (*Case Structure*) dentro de um laço *while*. A estrutura de caso pode possuir uma forma simples, equivalente a uma estrutura *if*: se a condição for verdadeira executar uma ação e se for falsa, executar outra ação. Mas também pode ter uma forma um pouco mais aprimorada onde as condições são preestabelecidas em uma lista e a condição de execução dos subdiagramas corresponde ao valor inserido no seletor de caso (*case selector*).

Figura 41 - MHL do analisador de potência

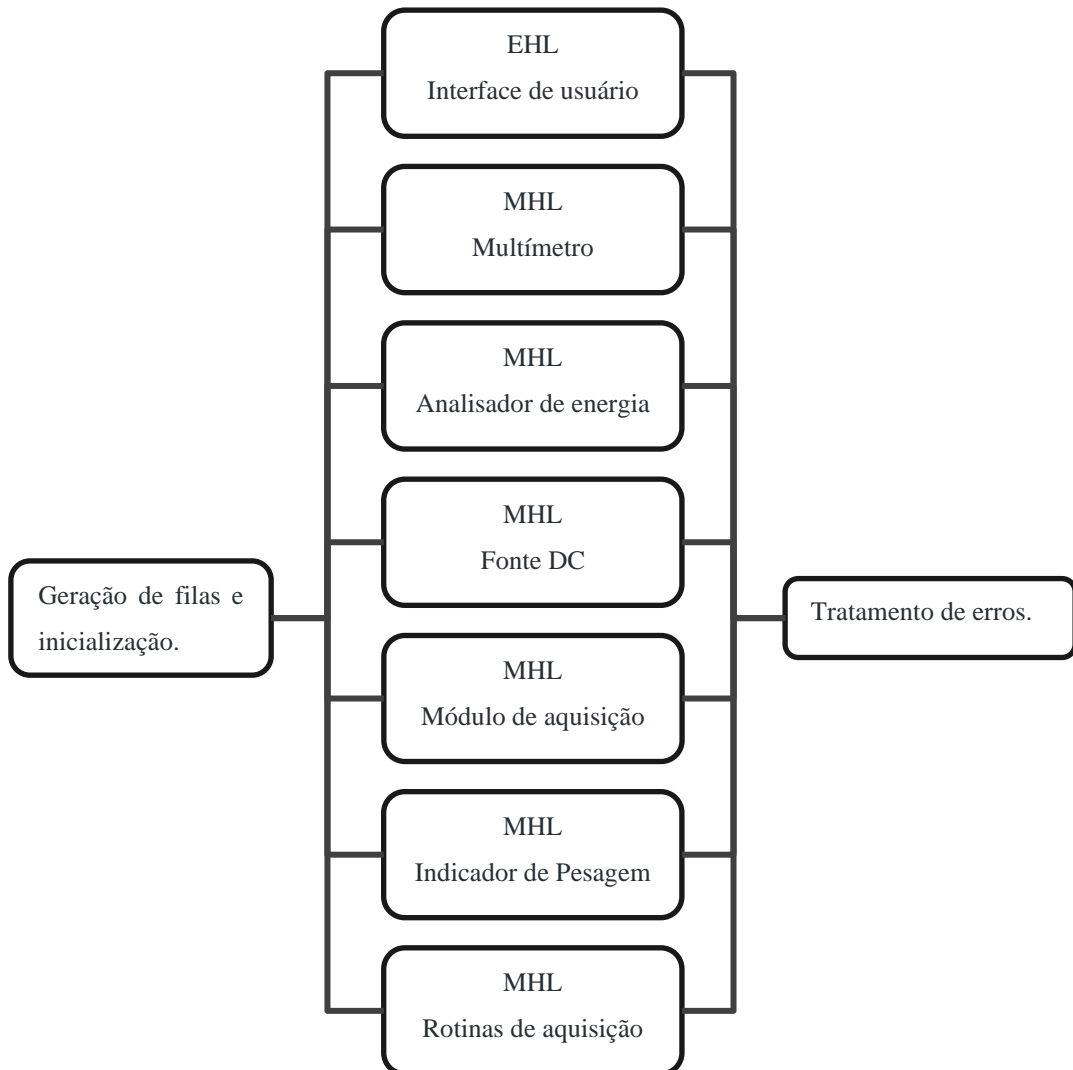


Fonte: (AUTOR, 2020)

Assim como no EHL, a função *Unbundle by name* também é utilizada para selecionar a referência da fila do analisador de potência. É utilizado um bloco para pegar a primeira mensagem da lista e inserir no seletor de caso, assim o subdiagrama desejado é selecionado e sua ação executada. As mensagens da lista seguem ordem cronológica, assim a última mensagem inserida na lista será a última mensagem a ser lida. As mensagens são inseridas com o formato de *String* e a estrutura de caso é programada para receber mensagens do mesmo formato. Para o caso ilustrado na Figura 41, a ação requisitada pela mensagem “CONFIGwt500” é atualizar os valores das configurações do instrumento.

O diagrama de blocos do programa pode ser visto na Figura 42. Os blocos EHL e MHL estão representados de maneira similar ao código devido à impossibilidade de gerar uma imagem de qualidade e representativa do programa. Em resumo, o bloco de geração de filas é responsável pela inicialização de cada fila de instrumento e por inserir todas as filas em um mesmo pacote. O EHL e os MHLs representam os laços com as rotinas de cada instrumento como está no código do programa. Ao final, o bloco de tratamento de erros apresenta ao usuário os principais erros gerados durante a execução do programa.

Figura 42 - Diagrama do Programa Assistente de Ensaio



Fonte: (AUTOR, 2020)

Como mencionado anteriormente cada instrumento possui em seu MHL determinadas mensagens que executam suas funções, o Quadro 2 apresenta uma descrição de todos os MHL e suas respectivas mensagens e funções.

Quadro 2 - MHL, filas e mensagens

Instrumento	Nome da fila	Mensagens	Descrição
34410A	"Multímetro"	"Icmultimetro"	Inicializa a comunicação.
		"Idle"	Habilita o botão de salvar resistências.
		"LOGmultimetro"	Realiza aquisição.
		"CONFIGmultimetro"	Realiza configurações do instrumento.
		"END"	Encerra a comunicação.
		"shutdown"	Encerra a fila.
	"WT500"	"ICyokogawa"	Inicializa a comunicação.

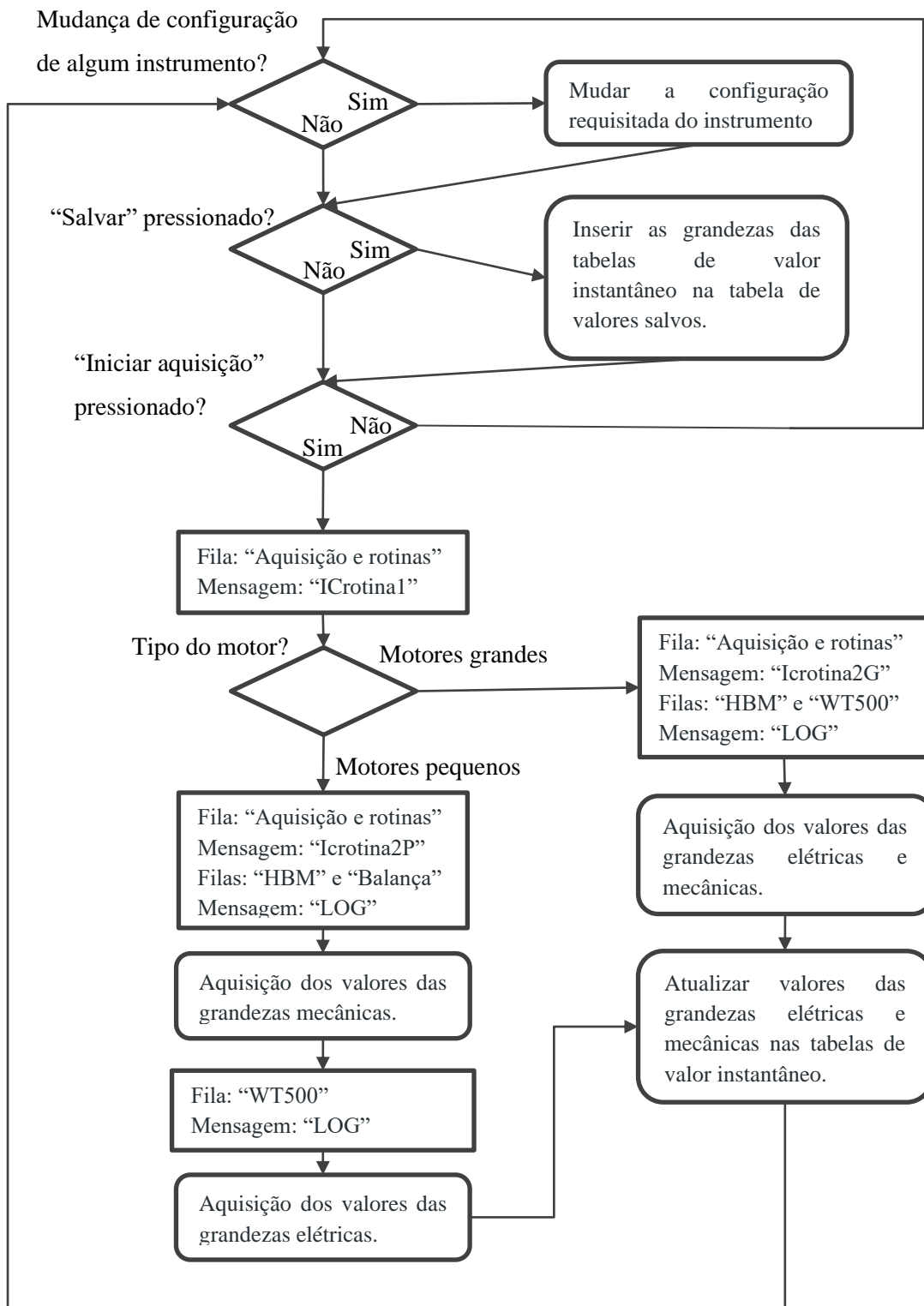
WT500		"grandezas"	Apresenta a THD, desvios de frequência e tensão.
		"LOG"	Realiza aquisição.
		"CONFIGwt500"	Realiza configurações do instrumento.
		"END"	Encerra a comunicação.
		"shutdown"	Encerra a fila.
E3632A	"Fonte DC"	"ICFonteDC"	Inicializa a comunicação.
		"Idle"	Atualiza os valores de tensão e corrente enquanto a saída está ativa.
		"ROTINAInit"	Configuração inicial do instrumento.
		"LOGFonteDC"	Realiza aquisição.
		"CONFIGfontedcresertOVP "	Libera o sistema após acionamento da OVP.
		"CONFIGFonteDC"	Realiza configurações do instrumento.
		"END"	Encerra a comunicação.
MX440B	"HBM"	"Ichbm"	Inicializa a comunicação.
		"LOG"	Realiza aquisição.
		"END"	Encerra a comunicação.
		"shutdown"	Encerra a fila.
3100C	"Balança"	"ICalfa"	Inicializa a comunicação.
		"LOG"	Realiza aquisição.
		"END"	Encerra a comunicação.
		"shutdown"	Encerra a fila.
Aquisição de grandezas	"Aquisição e rotinas"	"Init"	Mensagem de início.
		"MOTOR"	Atualiza os valores de placa do motor e os valores dos campos de referência de torque e potência.
		"ICrotina1"	Inicializa a primeira parte da rotina para aquisição dos valores dos instrumentos.
		"ICrotina2G"	Segunda parte da rotina de aquisição dos instrumentos, para motores grandes.
		"ICrotina2P"	Segunda parte da rotina de aquisição dos instrumentos, para motores pequenos.

		"Salvar1fase"	Salva as grandezas do campo de valores instantâneos para tabela de motores monofásicos.
		"Salvar3fase"	Salva as grandezas do campo de valores instantâneos para tabela de motores trifásicos.
		"shutdown"	Caixas de diálogo para salvar os valores das tabelas ao fechar o programa.
		"finalizar"	Encerra a fila e realiza um <i>backup</i> de todos os valores salvos.

Fonte: (AUTOR, 2020)

Para complementar o entendimento do código do programa, é apresentado na Figura 43 o diagrama de fluxo da rotina de aquisição do programa.

Figura 43 - Diagrama de fluxo do processo "Iniciar aquisição"



Fonte: (AUTOR, 2020)

6.3 REQUISITOS DE UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA

Para poder utilizar o programa é preciso que o computador atenda os seguintes requisitos:

- Computador atenda aos requisitos para suportar o LabVIEW versão 2013
- LabVIEW 2013 *Runtime*
- Driver do analisador de potência Yokogawa WT500 compatível com versão 2013
- Driver do multímetro digital Agilent 34410A compatível com versão 2013
- Driver do módulo de aquisição HBM MX440B compatível com versão 2013
- Driver da Fonte DC Agilent E3632A compatível com versão 2013
- Driver do conversor RS-232/USB para a utilização do indicador de pesagem

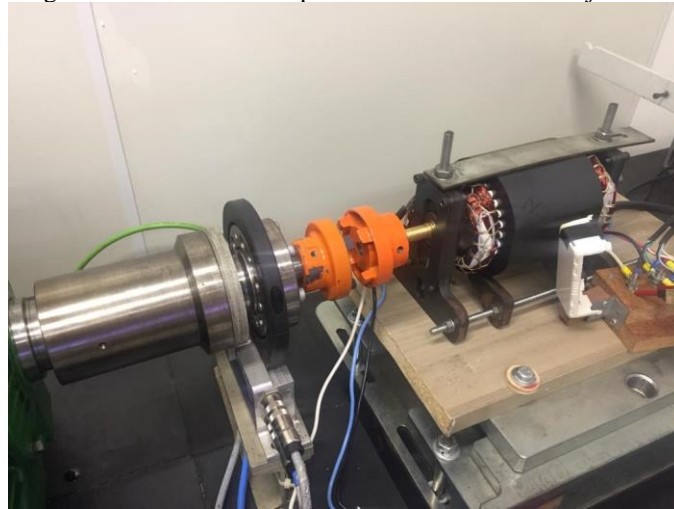
A pasta entregue com o programa contém os drivers utilizados para a versão atual do programa bem como um arquivo de instruções de instalação.

6.4 VALIDAÇÃO

A validação do programa foi feita durante testes realizados em motores trifásicos de acordo com a norma IEEE 112 e motores monofásicos conforme a norma IEEE 114, cujos testes se assemelham aos da IEEE 112. Ao todo foram ensaiados seis motores de indução sendo três trifásicos e três monofásicos. Foram utilizados os instrumentos da bancada especial de ensaios conectados ao programa assistente para a aquisição dos dados. Esses testes foram realizados para um estudo de desempenho e caracterização de compressores conduzido no laboratório.

Os testes foram realizados de duas formas: a primeira, consiste em retirar o motor de dentro do compressor e o colocar em um frame com dois mancais. Dessa forma o motor pode ser testado separadamente, retirando a influência das demais peças móveis. A segunda maneira consiste em utilizar o motor dentro do próprio compressor, desta forma o teste demonstra uma aproximação mais realista para o desempenho, visto que as perdas por atrito e ventilação refletem todo o sistema mecânico acoplado ao eixo do motor.

Figura 44 - Motor do compressor isolado em frame ajustável



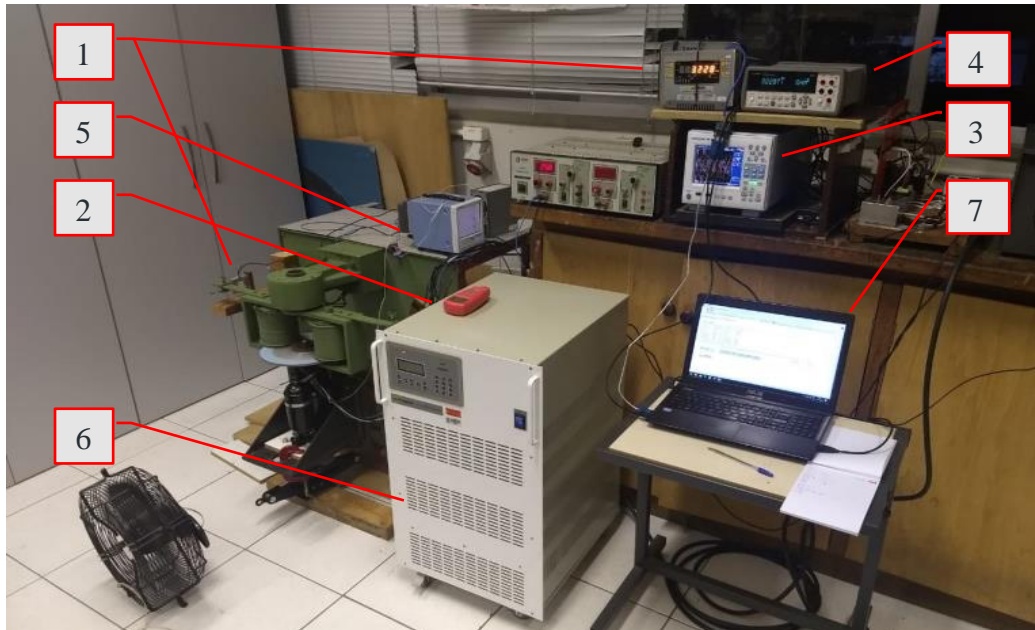
Fonte: (AUTOR, 2020)

Os motores instalados na carcaça horizontal foram testados na bancada, conforme a Figura 44, utilizando o módulo de aquisição para medição de torque e rotação, o analisador de potência para as grandezas elétricas e o multímetro digital para medição das resistências.

Para os testes com o motor dentro do compressor foi preciso adaptar outra bancada para comportar o teste vertical como apresentado na Figura 45 e na Figura 46, empregando os mesmos instrumentos de medição. Para medição do torque foi usada uma célula de carga em conjunto com o indicador de pesagem (indicada na Figura 45 como 1), e para a velocidade um tacômetro ótico (2), visto a dificuldade de utilizar o sensor de captação. Para as grandezas elétricas foi utilizado o analisador de potência (3) e o multímetro digital (4) para as resistências. Um *datalogger* (5) com sensor de temperatura foi utilizado para monitorar o aquecimento do motor. Tanto para os motores testados no frame quanto para os motores testados na bancada adaptada verticalmente a fonte eletrônica (6) foi utilizada para a alimentação.

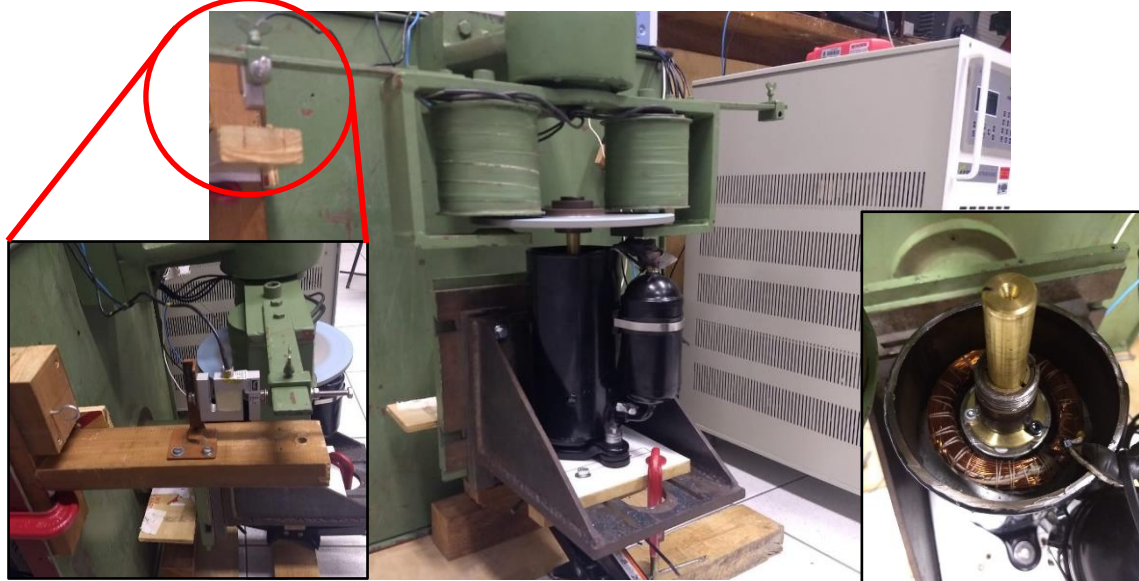
Em ambos os casos foi utilizado um computador com o programa assistente de ensaios (7) para realizar a aquisição dos dados dos testes. Os dados foram exportados do programa para a planilha do Excel em que estão aplicados os cálculos da norma para a determinação das características do motor.

Figura 45 - Bancada adaptada para testes verticais



Fonte: (AUTOR, 2020)

Figura 46 - Motor do compressor testado verticalmente



Vista lateral

Vista superior

Fonte: (AUTOR, 2020)

Um exemplo de tabela de grandezas gerada através dos pontos adquiridos com o programa pode ser observado na Tabela 1. Os dados foram adquiridos durante o teste de carga de um motor monofásico como mostrado na Figura 44. Para fim de nomenclatura, “Corrente p.” significa a corrente do enrolamento primário do motor, “Corrente aux.” significa a corrente do enrolamento auxiliar do motor, “T. enrolamento p.” significa a temperatura do enrolamento primário, “T. enrolamento aux.” significa a temperatura do enrolamento auxiliar, “Rendimento

T. Ensaio” significa o rendimento em temperatura do ensaio e “Perdas T. Ensaio” as perdas do motor em temperatura de ensaio.

Tabela 1 - Grandezas obtidas durante teste de carga

Ponto	150%	125%	100%	75%	50%	25%
Ref. (W)	5400	4500	3600	2700	1800	900
Horário	16:44:00	16:44:00	16:45:00	16:46:00	16:47:00	16:47:00
Tensão (V)	219.3	219.8	220.37	221.02	221.36	221.77
Corrente linha (A)	25.108	22.365	17.379	13.586	10.846	8.966
Corrente p. (A)	23.448	20.732	16.087	13.149	11.747	11.796
Corrente aux. (A)	5.27	5.39	5.618	5.818	5.982	6.154
Potência ativa (W)	5265.3	4691.1	3601.4	2701.7	1949.8	1190.5
Frequência (Hz)	59.994	60.994	63.994	64.994	65.994	66.994
Torque (Nm)	11.286	10.303	8.144	6.093	4.123	2.215
RPM	3319.9	3359.7	3425.9	3477.7	3517.8	3556.8
T. enrolamento p. (°C)	63.1	63.1	63.1	63.1	63.1	63.1
T. enrolamento aux. (°C)	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1
Resultados						
Rendimento T. Ensaio (%)	74.4	77.1	80.9	82.0	78.0	69.9
Perdas T. Ensaio (W)	1347.9	1072.0	687.0	485.0	428.6	358.1

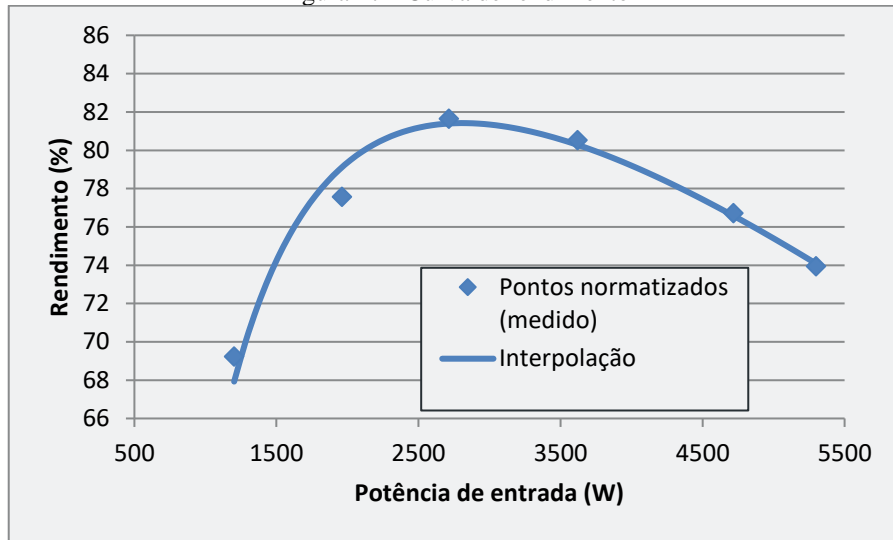
Fonte: (AUTOR, 2020)

Os valores apresentados na tabela foram obtidos diretamente da aba “Tabela de grandezas > Motor Monofásico”. Esta aba é recomendada para motores monofásicos por apresentar a tensão separada para cada fase assim como a corrente. Desta maneira, o operador consegue verificar a corrente de linha, a corrente do enrolamento principal e a corrente do enrolamento auxiliar do motor. Outra possibilidade de exportação dos dados é com o arquivo de texto gerado ao encerrar o programa como mostrado pela Figura 37. O arquivo contém todas as informações disponíveis sobre cada ponto salvo em ambas as abas de motores. É válido notar que as temperaturas foram obtidas a partir das resistências das bobinas do estator do motor e adicionados posteriormente na tabela.

Com as informações da Tabela 1 é possível elaborar dois gráficos: um que representa o rendimento do motor, Figura 47, e outro que representa a curva de perdas do motor, Figura 48, para cada ponto de carregamento. Os valores apresentados nos gráficos foram corrigidos para a temperatura de 80°C.

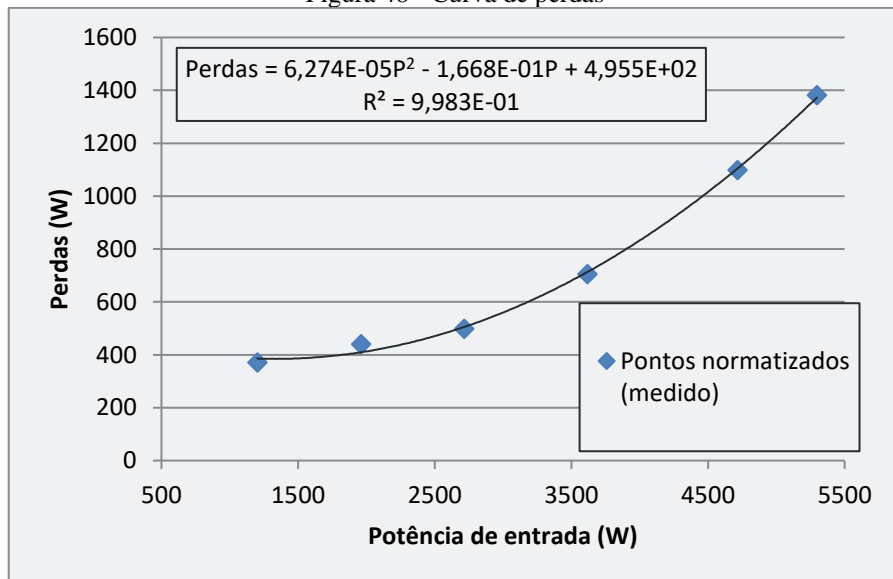
Por fim, com essas imagens é possível verificar valores de rendimento ou de perdas para diferentes pontos de carga do motor.

Figura 47 - Curva de rendimento



Fonte: (AUTOR,2020)

Figura 48 - Curva de perdas



Fonte: (AUTOR, 2020)

7 CONCLUSÃO

O objetivo do trabalho foi desenvolver um programa de computador criado na plataforma LabVIEW para se conectar com os instrumentos da bancada especial de ensaios para motores de indução do Laboratório de Máquinas e Acionamentos Elétricos (LABMAQ) e realizar a aquisição das grandezas relevantes para testes de desempenho.

O programa assistente de ensaios cumpre a ideia inicialmente proposta, com as funções de conexão de instrumentos, visualização de grandezas, aquisição e exportação dos dados salvos. Outro ponto importante é a preocupação com a gestão do conhecimento: como parte do projeto, este documento pode ser utilizado como manual do programa para compreensão de seu funcionamento e operação. Também são apresentadas e descritas as informações necessárias para realizar alguma modificação no código. Portanto, caso seja desejado realizar alguma atualização no programa, este documento oferece o suporte necessário.

As dificuldades encontradas foram principalmente devidas à necessidade de encontrar informações específicas, que dependem do fabricante, sobre algum instrumento. Como no caso do módulo de aquisição HBM, em que foram precisas algumas tentativas até que as configurações do sensor de captação funcionassem corretamente.

Outro fator limitante foi a versão do LabVIEW utilizada (2013). Com uma versão mais recente seria possível incluir também o *datalogger* de temperatura existente na bancada até então somente utilizado como monitoramento, mas não para aquisição.

Trabalhos futuros poderão incluir o *datalogger*, que possui uma porta ethernet e driver para a versão 2015 do LabVIEW, isso possibilitará salvar os pontos de temperatura junto com as demais grandezas. Incluir a fonte eletrônica trifásica, que também possui uma porta ethernet, desta forma, o operador pode controlar a fonte diretamente pelo programa e também incluir a comunicação com o inversor do motor de indução utilizado como carga durante os testes. O desafio para a fonte e o inversor será implementar o código necessário para os protocolos de comunicação utilizados. Deve-se verificar a real praticidade e necessidade de incluir estes instrumentos no programa, visto que seriam para o controle da bancada.

As habilidades adquiridas para o desenvolvimento do programa são de grande importância para o cenário industrial em que estamos. Com a entrada da indústria 4.0, habilidades em programação e rápido aprendizado estão cada vez mais requisitadas. Devido à grande diversidade de instrumentos e sistemas existentes nas plantas fabris, a necessidade de se extrair dados de qualidade dos sistemas de manufatura é uma peça fundamental para os sistemas de gerenciamento.

REFERÊNCIAS

AGILENT. **Agilent 34410A/11A 6 1/2 digit multimeter Users's guide**. 5. ed. Santa Clara: Agilent Technologies, 2012.

ALFA INSTRUMENTOS. **Indicadores de Pesagem Linha 3100C, Manual de Instalação e Operação**. São Paulo: Alfa instrumentos, 2013.

ALFA INSTRUMENTOS. Indicador de Pesagem - Linha 3100 C – Inox IP69K. **Alfa instrumentos**, 2020. Disponível em: <<http://www.alfainstrumentos.com.br/produto/linha-3100-c-inox-ip-69k/>>. Acesso em: 05 Maio 2020.

ALLDREDGE, Q. Design Pattern Case Study: A Simple Counter. **LabVIEW Wiki**, 2019. Disponível em: <https://labviewwiki.org/wiki/Design_Pattern_Case_Study:_A_Simple_Counter#Queued_Message_Handler_.28QMH.29>. Acesso em: 12 Maio 2020.

ATO. Three Phase Induction Motor Construction. **Automation Technologies Online**, 2017. Disponível em: <www.ato.com/three-phase-induction-motor-construction>. Acesso em: 26 abr. 2020.

AURICH, D. G. Upgrade of test bench for three-phase induction motors Part 2 :Virtual instrument for power measurement., p. 949-952, 2018.

BIM, R. **Máquinas elétricas e acionamentos**. 3ª edição. ed. [S.l.]: Elsevier, 2014.

BOTTARO, M. **Instrumentação virtual em laboratório: introdução ao LabVIEW**. São Paulo: IEE-USP, 2012.

BRASFORMER. transformador-de-corrente-baixa-tensao. **Brasformer**, 2020. Disponível em: <<http://brasformer.com.br/produtos/transformador-de-corrente-baixa-tensao/bcs-02-03-06-02c/#>>. Acesso em: 03 Maio 2020.

CHAPMAN, S. J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. 5. ed. Porto Alegre: Hill, MC Graw, 2013.

DYNAPAR. **Series 54Z & 54ZT Pickups**. Dynapar™ brand. [S.l.], p. 1. 2020.

GOOGLE. Plataforma do Google Maps. **Google developers**, 2020. Disponível em: <<https://developers.google.com/maps/documentation>>. Acesso em: 09 Maio 2020.

HBM. **QuantumX operating manual**. Darmstadt: Hottinger Baldwin Messtechnik, 2016. 224 p.

HBM. **User Manual - HBM LabVIEW Driver**. Darmstadt: Hottinger Baldwin Messtechnik, 2016. 56 p.

HBM. **User Manual - HBM common API**. Darmstadt: Hottinger Baldwin Messtechnik, 2019. 38 p.

HBM. **espressoDAQ - USB Data Acquisition System**. HBM, 2020. Disponível em: <<https://www.hbm.com/fr/2189/espresso-daq-compacts-et-usb/>>. Acesso em: 03 Maio 2020.

IEEE. **IEEE standard test procedure for polyphase induction motors and generators**. New York: IEEE Standards Project Editor New York, 2017.

KEYSIGHT. **Keysight E3632A DC power supply user's guide**. 7. ed. Santa Rosa: Keysight Technologies, 2014.

KEYSIGHT. 34410A Digital Multimeter, 6½ Digit. **Keysight Technologies**, 2020. Disponível em: <<https://www.keysight.com/en/pd-692834-pn-34410A/digital-multimeter-6-digit-high-performance>>. Acesso em: 04 Maio 2020.

KEYSIGHT. E3632A 120W Power Supply, 15V, 7A or 30V, 4A. **Keysight Technologies**, 2020. Disponível em: <<https://www.keysight.com/main/techSupport.jsp?pid=835964&pageMode=FQ&lc=eng&cc=US>>. Acesso em: 05 Maio 2020.

MACHADO, A. C. **Determinação das perdas suplementares em motores de indução trifásicos pelo método EH-STAR**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 118. 2008.

MAGAZINE LUIZA. Cabo conversor dex dp9 rs 232 usb x serial com 66cm. **Magazine Luiza**, 2020. Disponível em: <<https://www.magazineluiza.com.br/cabo-conversor-dex-dp9-rs-232-usb-x-serial-com-66cm/p/ab7dkaf836/in/cusb/>>. Acesso em: 11 Maio 2020.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações elétricas industriais**. 8ª Edição. ed. Rio de Janeiro: LTC/Grupo Gen, 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano nacional de energia 2030**. Brasília: Gráfica da Eletrobrás, 2007.

NATIONAL INSTRUMENTS. Designing Custom User Interfaces in NI LabVIEW for Your NI USB-TC01. **National Instruments Corporation**, 2016. Disponível em: <<http://www.ni.com/tutorial/10728/en/>>. Acesso em: 09 Maio 2020.

NATIONAL INSTRUMENTS. Queued Message Handler Template documentation. **National Instruments**, 2017. Disponível em: <<http://www.ni.com/tutorial/53391/en/>>. Acesso em: 12 Maio 2020.

SNIVELY, S. Design Patterns: Best Practices for Application Development. **Azavar Technologies**, 2017. Disponivel em: <<https://www.azavar.com/details/design-patterns-best-practices-for-application-development>>. Acesso em: 08 Maio 2020.

YOKOGAWA. **WT500 Power analyzer user's manual**. 1. ed. [S.l.]: Yokogawa Electric Corporation, 2008.

YOKOGAWA. **WT500 Power Analyzer Communication Interface User's manual**. 3. ed. [S.l.]: Yokogawa Test & Measurement Corporation, 2017.

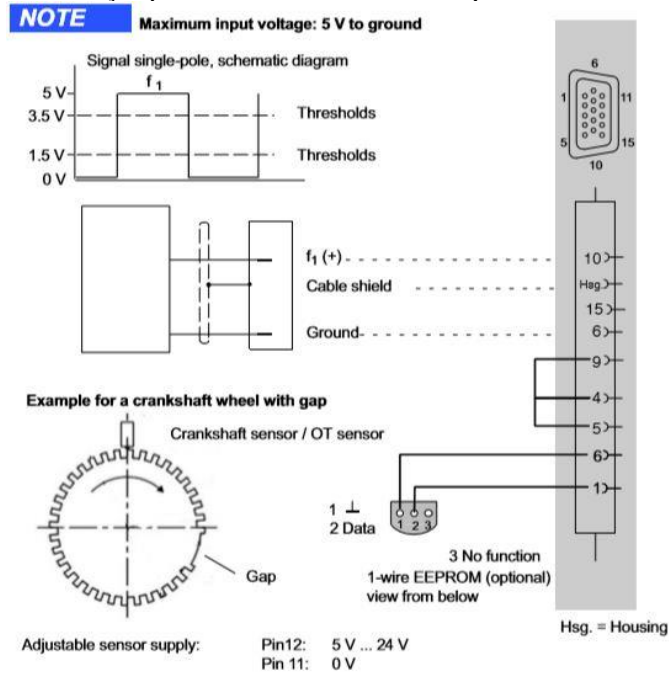
YOKOGAWA. What driver should I use when connecting WT500/WT1800 via USB from NI LabVIEW Environment?. **Yokogawa Test & Measurement Corporation**, 2020. Disponivel em: <<https://tmi.yokogawa.com/library/resources/faqs/what-driver-should-i-use-when-connecting-wt500wt1800-via-usb-from-ni-labview-environment/>>. Acesso em: 10 Maio 2020.

YOKOGAWA. wt500-power-analyzer. **Yokogawa Electric Corporation**, 2020. Disponivel em: <<https://tmi.yokogawa.com/solutions/products/power-analyzers/wt500-power-analyzer/>>. Acesso em: 03 Maio 2020.

APÊNDICE A – Conexão entre módulo MX440B e o sensor Dynapar serie 54Z

Para avaliar a compatibilidade entre o módulo e o sensor é preciso verificar no manual de cada elemento, como visto na Figura 49 e na Figura 50, se as tensões de alimentação do sensor e as tensões que o módulo fornece são compatíveis.

Figura 49 - Descrição para conexão de sensor de frequência com sinal direcional



Fonte: (HBM, 2016)

Figura 50 - Especificações elétricas do sensor

SPECIFICATIONS				
STANDARD OPERATING CHARACTERISTICS				
Power Requirements: 5 to 18 VDC, 10 mA plus load				
Weight: 2 oz.				
Operating Temperature: -40 to +105 °C (-40 to +220 °F.)				
Cable: 105 °C, PVC insulation, 10 foot length				
Material: Stainless 303 Steel				
ELECTRICAL OUTPUT RATINGS				
Outputs	Voltage Range	Sink (mA)	Source (mA)	Operating Speed
Current Sink (open collector w/2.2 kΩ pull-ups)	5 to 18 VDC	17	0.9 mA @V _{CC} -2V output	20 kHz max.
ELECTRICAL CONNECTIONS				
Function	Series 54Z Wire Color Code			
5 to 18 VDC	RED			
Signal	WHT			
Common	BLK			

Fonte: (DYNAPAR, 2020)

Na parte inferior da Figura 49 pode-se observar que os pinos 12 e 11 são a tensão de alimentação e a referência, respectivamente. O valor da saída de tensão é ajustável por meio do software, neste caso foi utilizado o CATMAN da própria HBM.

A configuração da conexão é feita conectando o fio branco (Signal) no pino 10, o fio preto (Common) no pino 11 e o fio vermelho (5 to 18 VDC) no pino 12.

É possível observar ainda na Figura 49 a memória interna do conector (1-wire EEPROM) ligada aos pinos 1 e 6. A função desta memória é fazer o módulo reconhecer o sensor e se autoconfigurar toda vez que houver troca de conexão. Desta forma o dispositivo apresenta uma maior facilidade operação.

APÊNDICE B – Procedimento para confecção de cabo para comunicação Serial RS-232

O padrão elétrico de conexão RS-232 é antigo e, portanto, os computadores atuais não possuem a interface para a conexão. Assim é preciso confeccionar os cabos e utilizar um adaptador para conseguir transmitir e receber dados dos instrumentos. O adaptador pode ser visto na Figura 51.

Figura 51 - Cabo adaptador RS-232/USB



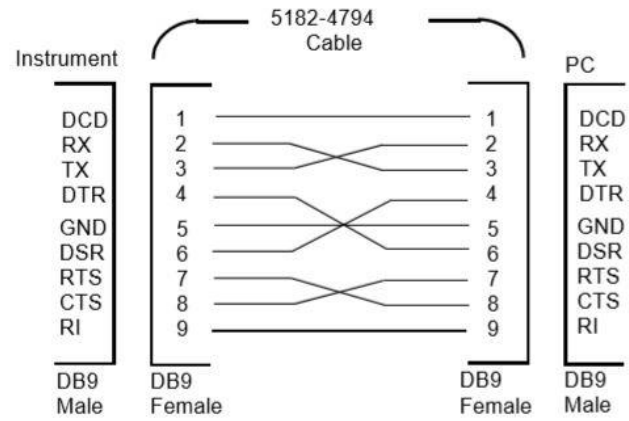
Fonte: (MAGAZINE LUIZA, 2020)

O padrão serial RS-232 funciona transmitindo informação entre um terminal de dados e um comunicador de dados, notados na literatura como DTE (Data Terminal equipment) e DCE (Data Communication equipment) respectivamente, sendo assim uma comunicação ponto a ponto. Caso existam mais de um equipamento com o mesmo padrão de comunicação é preciso uma porta RS-232 para cada equipamento. Outra limitação do padrão é a distância máxima de 10 metros entre o computador e o instrumento para que o sinal não seja degradado e prejudicar a comunicação (KEYSIGHT, 2014).

O cabo da fonte de corrente contínua foi feito com base nas informações contidas em seu manual. Neste caso, é um cabo chamado de *null-modem* com *full handshaking* e contém dois conectores DB9 nas extremidades, um fêmea e um macho. O diagrama de conexão pode ser visto na Figura 52.

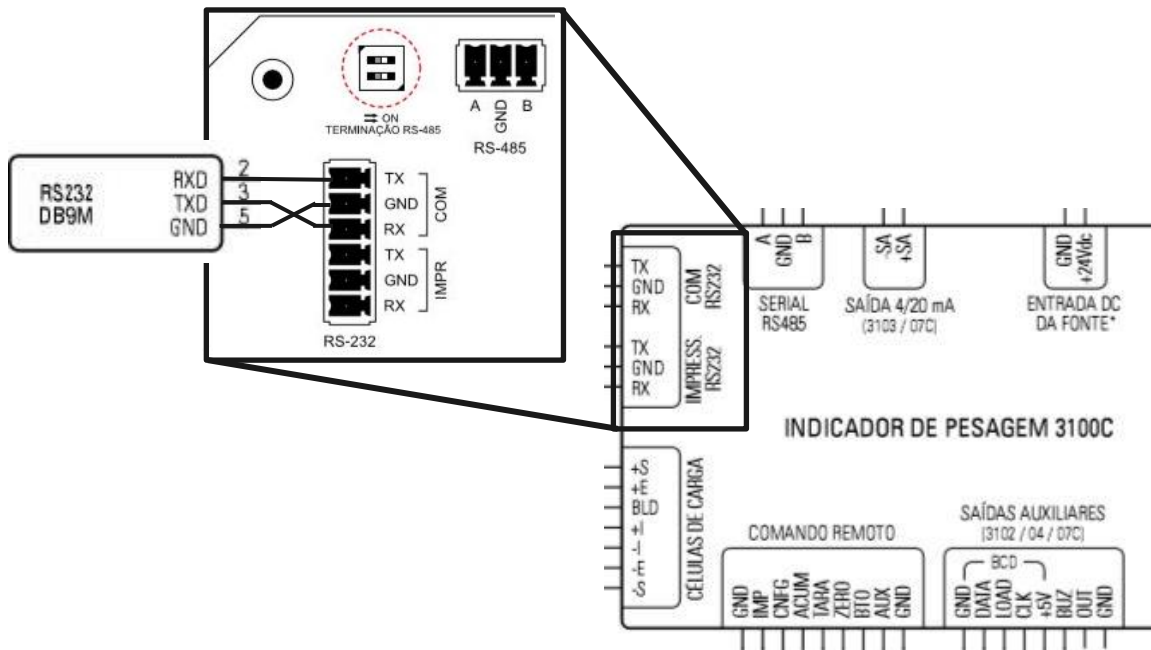
O cabo do indicador de pesagem também foi feito baseado nas informações do manual. Neste caso é um cabo *null-modem* sem *handshaking* e somente com um conector fêmea pois a outra extremidade é ligada a um conector de parafusos na placa do indicador. A conexão RS-232 com o indicador pode ser vista na Figura 53. A conexão é feita com o pino RX do indicador conectado ao pino TXD do adaptador, assim como o pino TX é conectado ao RXD do adaptador.

Figura 52 - Padrão para confecção de cabo RS-232 da fonte de corrente contínua



Fonte: (KEYSIGHT, 2014)

Figura 53 - Padrão para confecção de cabo RS-232 do indicador de pesagem



Fonte: Adaptado de (ALFA INSTRUMENTOS, 2013)