

DAS Departamento de Automação e Sistemas
CTC **Centro Tecnológico**
UFSC Universidade Federal de Santa Catarina

Vinícius Ghizoni da Silva

**Automação de uma bancada de calibração de
torquímetros**

Florianópolis
2017

Vinícius Ghizoni da Silva

**Automação de uma bancada de calibração de
torquímetros**

Relatório submetido à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a aprovação na disciplina **DAS 5511: Projeto de Fim de Curso** do curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Hector Bessa Silveira

Florianópolis
2017

Vinícius Ghizoni da Silva

Automação de uma bancada de calibração de torquímetros

Esta monografia foi julgada no contexto da disciplina DAS5511: Projeto de Fim de Curso e aprovada na sua forma final pelo Curso de Engenharia de Controle e Automação.

Florianópolis, 29 de março de 2017.

Banca Examinadora:

Agnaldo Reus Medeiros Rodrigues, M. Eng.
Orientador na Empresa
WEG S.A.

Prof. Hector Bessa Silveira, Dr.
Orientador no Curso
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Henrique Simas, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Emílio Bringhenti Junior
Debatedor
Universidade Federal de Santa Catarina

Guilherme Fetter Damasio
Debatedor
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Helenice e Vanderlei, e à minha irmã, Viviani, pelos ensinamentos, pelos esforços que tornaram possível a realização deste sonho, pelo exemplo dedicação e por todo o incentivo e apoio. Isso só foi possível por causa deles.

À minha namorada, Tamires, pelo amor, pelo carinho, pela paciência, pela companhia e pela compreensão nos momentos de ausência. Ela me fez ser melhor e querer ser melhor.

Ao meu orientador, Professor Hector, pela amizade, pela confiança e pelo apoio durante a realização deste trabalho e da Graduação.

Aos Professores Julio e Rodolfo, pelos ensinamentos durante a Graduação. Se hoje, faço o que amo, devo muito ao que me ensinaram.

A WEG S. A. pela oportunidade de colocar em prática o que aprendi nas graduações, em especial à Seção de Metrologia. Meu trabalho é reflexo das ótimas condições que pude lá viver. A confiança depositada no trabalho foi decisiva para o sucesso do mesmo.

Aos funcionários e colegas de WEG Guilherme da Silva, Marcelo Wille, Mather Jussie Malgreem, Antonio Anverze, Carla Daiane Bueno, Davi Orzechowski, Tiago da Rosa Santos e Gustavo Ugioni pelo direto envolvimento com o trabalho, pelo exemplo de competência profissional, pela ajuda e pela motivação.

Aos colegas e professores no Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, que foi crucial para conseguir chegar até aqui.

Aos colegas da Automação 12.1, que fizeram uma das graduações mais interessantes e desafiadores ser uma das melhores experiências da minha vida.

Aos membros do LCA e do ROBOTA, em especial ao amigo Felipe. Seu sucesso, sua competência, seu apoio e seus desafios foram imprescindíveis nessa jornada.

Ao meu avô Nereu, o maior engenheiro que já vi (ainda que dentista e advogado). À minha avó Luci, por tudo.

A todos meus amigos e parentes, que me ajudaram nessa e em outras jornadas, cujos nomes e feitos encheriam páginas e páginas.

“The solutions all are simple... after you have arrived at them. But they're simple only when you know already what they are.”

(Robert M. Pirsig)

RESUMO

Este trabalho detalha o processo de readequação tecnológica e automação de uma bancada de calibração de torquímetros, desenvolvido na WEG Equipamentos Elétricos. Instalada no Laboratório de Grandezas Físicas da seção de Metrologia, a referida bancada é utilizada para a calibração periódica dos torquímetros da empresa WEG. Os torquímetros são ferramentas importantes em uma diversidade de processos industriais, no ajuste e verificação de apertos, sendo a calibração periódica vital para o uso confiável e adequado desses instrumentos. Além de garantir melhoria no funcionamento do sistema, aumentando o torque máximo que pode ser aplicado na bancada e, por conseguinte, aumentando a gama de torquímetros que podem ser calibrados por ela, a automação proposta e implementada nesse trabalho reduziu o intervalo de tempo de realização das calibrações, diminuiu a ocorrência de erros causados pelo operador e facilitou a operação da bancada pelos metrologistas responsáveis. Um outro considerável benefício proveniente do trabalho foi o aumento da segurança, tanto do sistema quanto do operador.

Palavras-chave: Readequação Tecnológica. Automação. Calibração. Torquímetros. Bancada de calibração.

ABSTRACT

This work details the process of technological improvement and automation of a torque wrench calibration bench, developed at WEG Equipamentos Elétricos. Installed at the Laboratory of Physical Magnitudes of the Metrology Department, the calibration bench is used for the periodic calibration of WEG's torque wrenches. Torque wrenches are important tools in a large number of industrial processes involving grip-setting and grip evaluation, and its periodic calibration is a vital procedure for granting reliability on their use. In addition to enhancing the performance, increasing the maximum torque that can be applied by the bench and thus increasing the range of torque wrenches that can be calibrated by it, the automation reduced the time interval of calibration realization, decreased the occurrence of errors and facilitated the torque bench's operation by metrologists. Another considerable benefit from this work was the increase in safety of both the system and the operator.

Key-words: Technological improvement. Automation. Calibration. Torque Wrench. Torque wrench calibration bench.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – O Torque e a fixação.....	27
Figura 02 – O freio de Prony	28
Figura 03 – O freio de Foucault.....	28
Figura 04 – Medição de torque por ângulo de torção.....	29
Figura 05 – Medição de torque por extensômetros	30
Figura 06 – <i>SMART Static TD</i> da Norbar	31
Figura 07 – Esquemático dos transdutores Norbar <i>SMART Static TD</i>	31
Figura 08 – <i>Norbar TTT Series 3</i>	32
Figura 09 – Exemplo de torquímetro do tipo I	33
Figura 10 – Torquímetro do tipo I em operação	34
Figura 11 – Exemplo de torquímetro do tipo II	35
Figura 12 – Torquímetro do tipo II – detalhe do “desnucamento”.....	35
Figura 13 – Diagrama do projeto.....	38
Figura 14 – <i>Suretest Basic Calibration System</i> da Robb Precision Tools	42
Figura 15 – <i>Loading Bench</i> da Mountz.....	42
Figura 16 – <i>Centormeter</i> da Andilog	43
Figura 17 – Calibrador de Torquímetros	45
Figura 18 – IHM do calibrador de torquímetros	46
Figura 19 – Estrutura mecânica da Gedore	47
Figura 20 – Representação do funcionamento do sistema	53
Figura 21 – Função global com suas entradas e saídas	53
Figura 22 – Conector do motor à estrutura mecânica	57
Figura 23 – Acoplador do motor ao eixo	57
Figura 24 – Potenciômetro para variação de velocidade	58
Figura 25 – IHM de segurança do sistema.....	58
Figura 26 – Representação do quadro elétrico do sistema	59
Figura 27 – Circuito geral do sistema.....	61
Figura 28 – Conexões elétricas.....	61
Figura 29 – Conector <i>Ancillaries</i>	62
Figura 30 – Proposta de tela de <i>login</i>	64
Figura 31 – Fluxograma do <i>software</i> do servoconversor	65
Figura 32 – Peças mecânicas finalizadas	67

Figura 33 – Calibração de torquímetros do tipo II.....	68
Figura 34 – Ligações do sistema	69
Figura 35 – Quadro elétrico do sistema.....	70
Figura 36 – SCA06 e ECO5.....	72
Figura 37 – Tela de <i>login</i>	74
Figura 38 – Tela de escolha de equipamento.....	74
Figura 39 – Tela de seleção da ordem de serviço	75
Figura 40 – Tela de seleção de padrão	76
Figura 41 – Tela de calibração	76
Figura 42 – Fluxograma do SCA06	78
Figura 43 – Planejamento de fabricação do sistema	80
Figura 44 – Detalhe da fixação do servomotor na estrutura	84
Figura 45 – IHM em operação	85
Figura 46 – Quadro Elétrico.....	85
Figura 47 – Banca de calibração de torquímetros em operação	91
Figura 48 – IHM de <i>backup</i> em operação.....	91
Figura 49 – PLC300 no sistema	92
Figura 50 – Vista frontal do quadro elétrico	92
Figura 51 – Quadro elétrico do sistema.....	93
Figura 52 – Tela de seleção de ordem com tipo identificado.....	94
Figura 53 – Tela de seleção do lote de inspeção	95
Figura 54 – Rotina de habilitação do servomotor	96
Figura 55 – Rotina de impressão de leitura	97
Figura 56 – Rotina de encerramento de comunicação	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cronograma de execução	39
Tabela 2 – Especificações do Projeto	50
Tabela 3 – Funções parciais, subfunções e explicações	55
Tabela 4 – Custos	79
Tabela 5 – Especificações do projeto e resultados	100

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Motivação	18
1.1.1	Importância do projeto	19
1.2	Objetivos	19
2.2.1	Objetivo Geral	20
2.2.2	Objetivos Específicos	20
1.3	Organização do Documento	20
2	A WEG S.A.	22
2.1	A empresa	22
3	Fundamentação	24
3.1	PRODIP	25
3.1.1	Projeto Informacional	25
3.1.2	Projeto Conceitual	26
3.1.3	Projeto Preliminar	26
3.1.4	Projeto Detalhado	26
3.2	Torque	26
3.2.1	Medição de Torque	28
3.2.2	Transdutores de Torque 'SMART' Static TD	30
3.2.3	Torquímetros	32
3.3	Calibração de Torquímetros	36
4	PROJETO INFORMACIONAL	38
4.1	Definição do Escopo do Projeto	38
4.2	Cronograma de Execução	39
4.3	Definição dos Fatores de Influência no Projeto do Produto	41
4.3.1	O mercado	41

4.3.2	Análise das normas regulamentadoras	44
4.3.3	Análise do Calibrador Mecanizado de Torquímetros	45
4.4	Problemas do calibrador de torquímetros mecanizado.....	48
4.5	Requisitos do Usuário	49
4.6	Especificações do Projeto.....	50
5	PROJETO CONCEITUAL.....	52
5.1	Definição da Estrutura Funcional	52
5.1.1	Função global.....	53
5.1.2	Funções parciais	54
5.2	Detalhamento da Concepção	56
5.2.1	Parte Mecânica	57
5.2.2	Parte Eletroeletrônica.....	60
5.2.3	Programação e Controle	63
6	PROJETO PRELIMINAR.....	66
6.1	Estabelecimento do leiaute do sistema	66
6.1.1	Leiaute inicial da parte Mecânica	67
6.1.2	Leiaute inicial da parte Eletroeletrônica.....	69
6.1.3	Leiaute inicial da parte de Programação e Controle	73
6.1.4	Custos	79
6.2	Protótipo	79
6.2.1	Planejamento de fabricação.....	80
6.2.2	Definição dos testes a para validação do protótipo	81
7	PROJETO DETALHADO.....	83
7.1	Montagem do Protótipo	83
7.2	Testes.....	86
7.3	Aprimoramento da Solução	87

7.3.1	Aprimoramentos relacionados à fabricação	88
7.3.2	Aprimoramentos relacionados à montagem	88
7.3.3	Aprimoramentos relacionados aos testes	89
7.4	Leiaute final do sistema	90
7.4.1	Leiaute final da parte Mecânica	91
7.4.2	Leiaute final da parte Eletroeletrônica	93
7.4.3	Leiaute final da parte de Programação e Controle	94
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS	100
8.1	Conclusões	100
8.2	Propostas para trabalhos futuros	103
	REFERÊNCIAS	104
	APÊNDICE A – Síntese Funcional	106
	APÊNDICE B – Lista de Elementos do Sistema	108
	APÊNDICE C – Códigos em Ladder	112
	APÊNDICE D – Identificação dos Bornes	121

1. INTRODUÇÃO

Seja reflexo da natureza humana ou apenas consequência da vida em sociedade, a vontade de conhecer e explicar processos e fenômenos foi (e é) determinante para o desenvolvimento da humanidade, como aponta Silva (2002). Medições e medidas estão tão inseridas na vida moderna que o ato de imaginar o mundo sem elas (ou sem os padrões atuais e grandezas regentes) é uma tarefa árdua até mesmo para os mais imaginativos. A duração dos dias, as quantidades de alimentos nas refeições e inúmeras relações interpessoais estão baseadas em elementos mundialmente conhecidos, as chamadas unidades padrão, como aponta Albertazzi et al. (2008). Ainda segundo os autores:

Medir é o procedimento experimental através do qual o valor momentâneo de uma grandeza física (mensurando) é determinado como um múltiplo e/ou uma fração de uma unidade, estabelecida por um padrão, e reconhecida internacionalmente (Albertazzi et al. 2008).

Allen et al. (2001) propõe um significado menos técnico (e mais filosófico) para a ação de medir, dizendo que é o ato de atribuir números a indivíduos de maneira sistemática como um meio de representar suas propriedades. A medição depende da execução de testes, que são dispositivos para obter uma amostra do comportamento de um indivíduo. A ciência responsável por estudar e regulamentar o ato de medir é chamada de metrologia e os avanços nessa área são cruciais para os desenvolvimentos nas demais. Para o *Bureau International de Poids et Mesures* – Gabinete Internacional de Pesos e Medidas, uma das três organizações estabelecidas para manter o Sistema Internacional de Unidades (SI) – metrologia é a ciência da medição, abraçando simultaneamente as determinações teóricas e experimentais em qualquer nível de incerteza e em qualquer campo da ciência e tecnologia, como aponta o INMETRO (2012).

Um dos reflexos do aprimoramento das medições são as especializações de empresas e pessoas, que por sua vez são consequências da globalização e permitem o alcance de níveis de excelência inatingíveis em outras situações. Com a padronização de unidades, a globalização é ainda mais potencializada e empresas podem ser fornecedoras e clientes em níveis globais, produzindo e consumindo produtos e serviços mais avançados (e complexos) que outrora. Uma vez que o

produto esteja de acordo com suas especificações, e estas sejam reconhecidas e entendidas internacionalmente, é possível estabelecer relações comerciais com fornecedores de outros países, com diferentes culturas e ainda desempenhar as tarefas desejadas.

Seja por razões de custos financeiros, vidas em jogo ou o risco de macular uma marca, não há muito espaço para erros na indústria: é necessário que as especificações descrevam corretamente o produto relacionado. É inviável que, no ritmo e escala da indústria atual, uma empresa que planeje utilizar, por exemplo, um motor como matéria prima em algum produto da mesma precise testar cada um deles em sua linha de produção. É imprescindível que os produtos atendam às suas especificações.

Uma atividade relacionada com medições e especificações é a calibração dos instrumentos, a qual é crucial para se garantir resultados confiáveis e dentro das normas. Segundo o INMETRO, a definição de calibração proposta no Vocabulário Internacional de Medidas é:

Operação que estabelece, sob condições especificadas, numa primeira etapa, uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas; numa segunda etapa, utiliza esta informação para estabelecer uma relação visando a obtenção dum resultado de medição a partir duma indicação (INMETRO, 2012, p. 27).

Dentre os vários procedimentos industriais, o uso de parafusos para garantir a fixação de diferentes elementos pode ser destacado pela presença massiva em situações diversas, independente da sua complexidade. Uma das maneiras de verificar o aperto aplicado pelos referidos elementos de fixação é baseada no uso de torquímetros, os quais permitem realizar a verificação do torque aplicado ou até mesmo aplicar o aperto especificado pelos fabricantes. O termo *chave de torque* também é utilizado para designar os torquímetros, que auxiliam na garantia de maior segurança e durabilidade dos componentes. Ainda que voltado ao ciclismo, o alerta de Huang (2010) de que torquímetros são ferramentas deveras importantes em situações onde existem elementos fixadores responsáveis por evitar a soltura de elementos presos, é pertinente para diversos outros campos.

Há a noção errônea de que, para juntar duas partes distintas, o maior aperto é a melhor solução. Entretanto, como apontam Brodey (2010) e Ulrich (2011), o aperto exagerado é responsável pela diminuição da vida útil dos componentes (com risco de quebra de parafusos, por exemplo), assim como o aperto insuficiente (com porcas vibrando ou trabalhando soltas, causando desgaste desnecessário). É crucial, portanto, que essas ferramentas estejam corretamente calibradas para que as mesmas funcionem com confiabilidade, segurança e dentro das suas especificações de projeto. O torquímetro pode ser determinante até para produtos que não precisem de aperto, uma vez que as máquinas fabricantes podem precisar de ajustes específicos para funcionar conforme o projetado.

A WEG emprega a calibração periódica de seus instrumentos para garantir confiabilidade em seu uso. Segundo os metrologistas responsáveis, as calibrações de torquímetros realizadas pela Seção de Metrologia da WEG têm duração média de 20 minutos, quando essas ocorrem sem erros. Caso aconteça algum problema, a duração do procedimento pode facilmente chegar, em média, na faixa dos 60 minutos. Considerando-se que a fila de instrumentos a serem calibrados continua a mesma, que o único turno onde são realizadas as calibrações dura 8 horas e 48 minutos e que a referida seção da empresa possui uma política de conclusão de procedimentos em até 48 horas do recebimento do produto a ser calibrado, é seguro dizer que há pouco espaço para erros. É digno de nota, também, o fato de que algumas falhas e equívocos podem danificar o sistema de calibração, resultando em paradas significativas (e custos consideráveis).

A metodologia utilizada no desenvolvimento do sistema detalhado no presente projeto é denominada Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos (PRODIP) e foi proposta por Back et al. (2008). Além de ter grande influência sobre a maneira como o presente documento está organizado, o PRODIP foi importante por propor uma sequência de passos e métodos que possibilitou a implementação da solução desejada.

Além das melhorias estruturais, a solução proposta oferece um *software* para guiar o metrologista responsável durante a calibração de torquímetros, recebendo os dados de calibração e permitindo comandar a operação da bancada pelo teclado do computador nela instalado. É importante considerar, também, que a substituição do servomotor, que se encontrava no sistema anterior por um que

oferece mais torque, garante a extinção dos problemas de travamento que a referida iteração anterior apresentava para instrumentos acima de 300 N.m.

A bancada automatizada de calibração de torquímetros, implementada nesse trabalho, reduziu consideravelmente o intervalo de tempo de realização das calibrações (estima-se que em torno de 60%), diminuiu a ocorrência e severidade de erros causados pelo operador e facilitou a operação da bancada.

Para entender o projeto cujo desenvolvimento foi detalhado neste documento, é importante considerar as motivações acadêmicas e empresariais por trás da proposição do referido projeto, além de considerar seus objetivos e importância. Ao fim do capítulo, há o detalhamento da organização do presente documento.

1.1 Motivação

O Projeto de Fim de Curso pode ser visto como o ápice da graduação em Engenharia de Controle e Automação – a chance de colocar em prática todos os conhecimentos auferidos e usa-los em conjunto para atingir os objetivos de um projeto inserido em um ambiente industrial. De certa forma, é a primeira oportunidade formal da grade curricular (ou pelo menos a mais significativa) de unir disciplinas distintas para um fim específico.

Os torquímetros são utilizados em diversas operações nos cinco grandes ramos de operação atuais da WEG (Motores, Automação, Energia, Transmissão & Distribuição e Tintas) e são todos calibrados pela Seção de Metrologia, com exceção dos instrumentos de torque superior à 500 N.m, os quais são encaminhados para laboratórios externos. A maior parte das calibrações é realizada ao longo de um mês (fevereiro e agosto são os “meses dos torquímetros”, quando eles são enviados para a Metrologia para a calibração periódica), com um número menor de envios nos demais meses.

Situações como a fila de instrumentos para calibrar, a duração dos ensaios de calibração, a necessidade de reiniciar o processo de calibração quando ocorrem certos erros do operador (e o risco de dano aos transdutores, que são elementos deveras custosos) fazem com que a ideia de reduzir a probabilidade de ocorrência de erros, mas garantindo ainda a robustez (quicá minimizando também o tempo demandado pelos ensaios), seja assaz interessante.

Outro aspecto relacionado à motivação é a importância do projeto, tanto para o Curso de Engenharia de Controle e Automação quanto para a WEG.

1.1.1 Importância do projeto

O projeto depende de uma grande variedade de conceitos, tratados em diferentes disciplinas da graduação. É uma oportunidade excelente para um graduando de colocar em prática esses conhecimentos, de maneira conjunta e com um objetivo significativo para a empresa (e não uma mera nota no boletim).

Para o Curso, é interessante ver um projeto multidisciplinar e realizado em ambiente industrial, mais comumente voltado para a aplicabilidade correta de preceitos do que para a inovação. É também um teste, bastante desafiador, da estruturação do Curso e de seu currículo para a formação de seus graduandos.

Para a empresa, há o aumento de segurança e produtividade em um processo crucial para toda uma cadeia de procedimentos. Seja colocando limites para reduzir a probabilidade do operador de errar, seja propondo um modo automático de ensaio, o projeto trará grandes ganhos para o Laboratório de Grandezas Físicas da seção de Metrologia e, conseqüentemente, para os mais diversos setores da WEG S.A.

O ensaio atual apresenta um elevado nível de mecanização, com um motor responsável pela aplicação da força no torquímetro (substituindo o esforço humano), mas é pouco automatizado e altamente dependente do operador. No caso de erro ou desatenção, não há muitos dispositivos de segurança oferecidos pelo equipamento para prevenção de danos ao transdutor, ou de falhas que inviabilizem todo o processo.

Com a compreensão da motivação e a importância do projeto para os envolvidos, foi possível propor alguns objetivos que nortearam os desenvolvimentos do referido projeto.

1.2 Objetivos

Para melhor compreender o projeto, serão apresentados abaixo o objetivo geral e os objetivos específicos do presente trabalho.

2.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do projeto é explorar técnicas que permitam automatizar o processo atual de calibração de torquímetros do Laboratório de Grandezas Físicas da WEG, garantindo robustez, confiabilidade e diminuindo a ocorrência de erros do operador nos ensaios.

2.2.2 Objetivos Específicos

Para conseguir associar o objetivo geral às atividades operacionais, foram elencados os seguintes objetivos específicos:

- levantar, na bibliografia, informações acerca do funcionamento dos torquímetros e dos transdutores utilizados em suas calibrações;
- identificar as normas que regem a calibração dos torquímetros;
- estudar o estado atual dos ensaios realizados pela empresa;
- identificar as necessidades dos usuários relativas ao sistema a ser desenvolvido;
- conhecer os materiais disponíveis para o uso no projeto;
- oferecer para o usuário limites e travamentos de segurança, para reduzir as possibilidades de ocorrência de erros no modo manual;
- verificar a viabilidade da automação do sistema, tornando-o independente do operador para alguns tipos de torquímetros. Se for possível, identificar um modelo matemático que descreva o comportamento da atuação da força no sentido vertical do calibrador de torquímetros;
- analisar experimentalmente os impactos da automação do ensaio em seus diferentes níveis.

A próxima seção detalha a organização do presente documento, apresentando o conteúdo e a disposição dos próximos capítulos.

1.3 Organização do Documento

O documento está dividido em oito capítulos. O Capítulo 2 apresenta uma descrição da WEG e contextualiza na mesma o projeto desenvolvido no presente trabalho.

O Capítulo 3 oferece a fundamentação sobre a metodologia adotada – o PRODIP – além de detalhar os torquímetros, equipamentos calibrados no sistema desenvolvido. Os seguintes capítulos são decorrentes da metodologia de projetos escolhida: Projeto Informacional, Projeto Conceitual, Projeto Preliminar e Projeto Detalhado.

O Capítulo 4 descreve o Projeto Informacional, com definições dos requisitos e especificações do projeto.

O Capítulo 5 trata do Projeto Conceitual, apresentando ideias e conceitos para atender as especificações do projeto.

O Capítulo 6 detalha o Projeto Preliminar, com a consolidação dos conceitos e a materialização do projeto na forma de um protótipo.

O Capítulo 7 apresenta o Projeto Detalhado, uma análise técnica dos resultados de teste e do sistema desenvolvido, a bancada automatizada de calibração de torquímetros.

Por fim, o Capítulo 8 expõe as considerações finais e perspectivas para trabalhos futuros.

2. A WEG S.A.

Como o projeto desenvolvido neste trabalho foi realizado na empresa WEG, faz-se importante conhecê-la e estudá-la, observando desde suas características históricas aos métodos atuais de trabalho. Fatores como, por exemplo, a mesma ser líder de mercado, possuir anos de experiência e apresentar um método particular de propor e desenvolver soluções tecnológicas, precisaram ser considerados para a obtenção dos melhores resultados do produto final implementado neste trabalho.

2.1. A empresa

A empresa WEG S.A. é a maior produtora de motores elétricos industriais das Américas, possui o maior parque fabril dedicado à fabricação de motores elétricos do mundo (instalado em Jaraguá do Sul – Santa Catarina), e tem significativa presença nos mercados de automação, energia (geração, transmissão e distribuição), tintas e motores elétricos em geral. Em 2015, a empresa contava com 30,973 colaboradores que operam em cinco continentes.

A WEG foi fundada em 16 de setembro de 1961 pelo eletricitista Werner Ricardo Voigt, o administrador Eggon João da Silva e o mecânico Geraldo Werninghaus, inicialmente como Eletromotores Jaraguá, que produzia inicialmente apenas motores elétricos. Após alguns anos, a empresa mudou sua razão social para WEG S.A. – junção das iniciais dos fundadores – e, na década de 80, iniciou a ampliação no portfólio de negócios que dura até hoje.

É importante frisar que, apesar do Brasil – país sede da empresa – estar encarando uma das piores situações econômicas dos últimos anos, a WEG conseguiu lucrar e evitar demissões em massa com cortes de gastos. Apesar da situação econômica indesejada, a empresa optou por investir horas e recursos em um projeto, tema deste documento, que busca o aprimoramento de um sistema que já se encontrava em operação. Os objetivos de atingir melhores resultados, diminuir a possibilidade de ocorrência de erros e aprimorar as condições de trabalho do operador foram os grandes motivadores para a WEG propor o projeto.

Uma das razões do sucesso da empresa em campos tão distintos é a atenção destinada à qualidade de seus produtos e processos industriais. Uma das explicações para o sucesso da WEG em seus diferentes campos de atuação é sua

contínua busca pela melhoria e simplificação de seus processos, que favorece o aprimoramento e a evolução de seus produtos. Programas internos como o CCQ – Círculos de Controle de Qualidade, PWQP – Programa WEG de Qualidade e Produtividade, PAC – Plano de Ação Corretiva e o PMC – Programa de Melhoria Contínua, visam sempre o refinamento dos processos, a satisfação dos clientes e a redução dos custos.

O Departamento de Controle de Qualidade se propõe a ser, ao mesmo tempo, defensor da empresa e do cliente, aliando os interesses de ambos para maximizar a qualidade e diminuir problemas e não conformidades para os dois lados. Tal departamento e suas seções componentes (uma delas sendo a Metrologia) são responsáveis por garantir que todos os processos estejam de acordo com normas nacionais e internacionais para os aprimorar, até mesmo propondo normas da própria empresa em consonância com as demais regulamentações.

O fato da Seção de Metrologia ser parte do Departamento de Controle da Qualidade é um retrato da maturidade da empresa e da ciência da importância da metrologia para a WEG. O objetivo da Seção de Metrologia é desenvolver e coordenar atividades relacionadas à calibração e processos de medição com agilidade e adequação para a WEG.

O presente projeto envolve um grande número de elementos, conceitos e propriedades em aplicações específicas. Assim, para melhor compreender algumas escolhas e o referido projeto como um todo, faz-se crucial apresentar uma fundamentação, a qual permita ao leitor analisar o trabalho e os desenvolvimentos empreendidos com o entendimento devido. O Capítulo 3 descreve esses fundamentos.

3. FUNDAMENTAÇÃO

Oakley (2014) aponta que a correta compreensão dos conceitos e teorias relacionados a um projeto, quando em suas etapas iniciais, diminui a ocorrência das indesejáveis situações de bloqueio por insistência em concepções e ideias erradas, baseadas em fundamentos falhos, e facilita portanto a tomada de decisões nas etapas posteriores. Entretanto, Pirsig (1974) defende que os chamados “empacamentos” não devem ser evitados, uma vez que eles são os antecessores físicos de todo o conhecimento real. No presente projeto, optou-se por conhecer profundamente conceitos pertinentes ao mesmo e deixar que os bloqueios, se ocorrerem, sejam devidos à variedade de boas soluções para problemas (e não pela falta de conhecimento para os resolver).

Para Back et al. (2000), as decisões de seguir uma metodologia de projeto e a escolha da mais apropriada podem ser cruciais para o sucesso da empreitada. No desenvolvimento de produtos, há uma grande variedade de métodos e ideologias, cada qual com suas vantagens e desvantagens. O desenvolvimento de um produto comercial é um processo deveras complexo, com etapas por vezes paralelas, extremamente codependentes e outras aparentemente desconexas. Há diversos métodos e práticas que buscam padronizar e facilitar o desenvolvimento de maneira a reduzir o número (e a gravidade) de erros no projeto. Como aponta Pirsig (1974), “O objetivo real do método científico é certificar-se de que a natureza não nos enganou, fazendo-nos pensar que sabemos algo que realmente não sabemos”.

Diversas etapas de um projeto estão relacionadas com o conhecimento de situações, características e detalhes de partes e elementos do sistema, fazendo-se necessário compreender elementos largamente utilizados em medições: os transdutores. Como apontado por Gillum (2009), um transdutor é um elemento que converte uma forma de energia em outra, sendo um conjunto de sensores e outros elementos necessários para a conversão. Um transmissor é um elemento que realiza o processamento do sinal para a conversão.

Entender a maneira como uma medição é realizada pode trazer válidas observações acerca do fenômeno medido. Por mais que haja uma restrição no presente projeto para o uso de um modelo específico de transdutor, optou-se por

verificar o princípio de funcionamento de outros elementos para depois analisar o que será utilizado.

O presente capítulo trata da metodologia de projetos utilizada neste trabalho e de fundamentos teóricos e práticos dos torquímetros. A seção 3.1 descreverá a metodologia de projetos PRODIP. Uma breve recapitulação do conceito de torque é feita na Seção 3.2, e a apresentação de alguns métodos de medição de tal grandeza física é realizada na Seção 3.3. Por fim, na Seção 3.4, serão descritos os principais procedimentos de calibração de torquímetros em bancadas industriais.

3.1. PRODIP

Desenvolvida no Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos (NeDIP) do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, a metodologia denominada PRODIP apresenta, de maneira estruturada, processos e métodos adotados no projeto de produtos industriais propostos por Back et al (2008).

O PRODIP é uma metodologia pioneira no país e, após um estudo aprofundado, mostrou-se adequada e aplicável ao presente projeto. Ressalta-se que existem outras metodologias que também poderiam ser utilizadas. No entanto, a familiaridade e experiência do autor deste trabalho com a aplicação do PRODIP em projetos anteriores foi mais um decisivo fator na escolha da metodologia a ser utilizada no presente projeto.

De acordo com os métodos propostos pelo PRODIP, o projeto é dividido em macro fases sequenciais e interdependentes, com uma abordagem de baixo para cima, onde cada etapa é responsável por estruturar o desenvolvimento para as próximas. As macro fases são chamadas de Projeto Informacional, Projeto Conceitual, Projeto Preliminar e Projeto Detalhado. As próximas subseções descreve, em maiores detalhes, essas macro fases do PRODIP, com base em Back et al. (2008).

3.1.1. Projeto Informacional

O Projeto Informacional é a parte inicial do projeto, na qual é realizada a definição das suas diretrizes. Ao se elencar as necessidades dos usuários a serem satisfeitas e se identificar a problemática do projeto, torna-se possível realizar uma análise mais completa do produto, ciclo de vida e de seus usuários.

3.1.2. Projeto Conceitual

Após a definição das diretrizes do projeto no Projeto Informacional, é possível iniciar a etapa chamada de Projeto Conceitual, em que serão buscadas maneiras de atender às especificações do projeto e aos requisitos dos usuários. Aqui, são propostas maneiras de atender ao que foi requisitado pelo usuário.

3.1.3. Projeto Preliminar

Depois de ter definido como as funções do sistema serão exercidas, na etapa do Projeto Conceitual, é possível propor dimensionamentos, configurações, soluções e especificações técnicas. Se, na etapa anterior, a concepção trazia ideias de como solucionar os problemas, agora essas ideias serão expandidas e detalhadas.

3.1.4. Projeto Detalhado

Na etapa final do projeto, chamada de Projeto Detalhado, é reunido todo o conhecimento adquirido nas etapas anteriores e é realizada a construção do protótipo. Com o protótipo e os resultados de testes, são feitas considerações sobre o protótipo e são discutidas quaisquer alterações necessárias para o tornar comercializável.

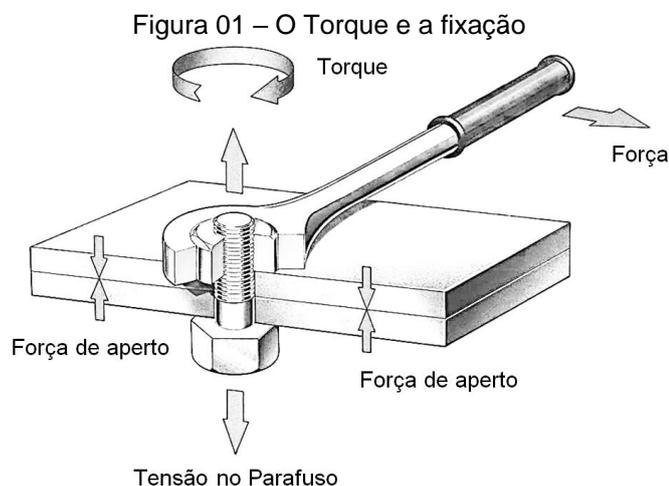
Ainda que o presente projeto não tenha caráter comercial, é possível extrapolar os preceitos finais do Projeto Detalhado do PRODIP para a conclusão, instalação e entrega do projeto para o Laboratório.

Visto que o projeto desenvolvido envolve elementos de aplicação e medição de torque, faz-se interessante analisar com mais detalhes essa grandeza física.

3.2. Torque

Segundo Dunn (2013), torque é o momento de uma força que tende a criar um movimento de rotação em torno de um eixo. De uma maneira mais informal, o torque pode ser considerado como a medida do quanto uma força, que age sobre uma alavanca, faz com que essa gire.

Entender o torque, como na situação ilustrada na Figura 1, por exemplo, é fundamental em um projeto que se presta a automatizar o processo de calibração de um instrumento como o torquímetro.



Fonte: Adaptado de *Torque Tool Tester Series 3 – Operator's Handbook*, Norbar.

A rosca de um parafuso tem seu funcionamento baseado no conceito de um plano inclinado em espiral que está em torno do comprimento de um elemento de fixação. Ao girar o parafuso, há o deslocamento dos elementos e a rosca do elemento de fixação é pressionada pelas ranhuras. Quanto maior o torque, maior a pressão exercida na rosca para junto das ranhuras e maior a força de aperto que mantém ambos os elementos juntos.

A componente perpendicular, em relação ao eixo de rotação, de uma força aplicada sobre um objeto e que promove a rotação define a grandeza vetorial física chamada torque. A distância entre o eixo do giro, chamado de ponto pivô, e o ponto onde é aplicada a força recebe o nome de braço da alavanca. A Equação (1) apresenta, matematicamente, o torque τ :

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (1)$$

onde r é o braço de alavanca e F é a força. A Equação (2) apresenta, em termos de magnitude, o torque τ :

$$|\tau| = |r||F| \text{sen } \theta \quad (2)$$

onde θ é o ângulo entre a força e o braço de alavanca.

Com a melhor compreensão do que é torque, é possível analisar mais cuidadosamente a maneira como a medição dessa grandeza física pode ser realizada.

3.2.1. Medição de Torque

Existem diversas maneiras de medir o torque, utilizando mais de um princípio físico para efetuar a medição. Elas costumam ser separadas em dois grandes grupos: as medições reativas e as diretas. Por mais que haja uma restrição do projeto em utilizar um transdutor de torque cujo funcionamento depende de células de carga, é importante se conhecer formas de medição disponíveis. Algumas delas são descritas na sequência.

Freio de Prony

Desenvolvido pelo físico francês Gaspar de Prony (1755 – 1839), o freio de Prony consiste de um braço de alavanca de propriedades conhecidas, conectado a um dinamômetro convencional (ou outra forma de qualificação de força) e preso no eixo de um motor. É uma medição do tipo reativa. A Figura 2 exibe uma representação desse sistema.

Figura 02 – O freio de Prony

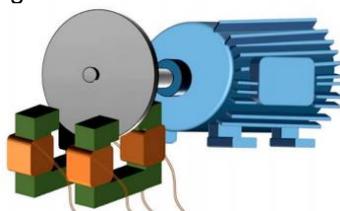


Fonte: Adaptado de Borges et al. (2015).

Freio de Foucault

Proposto pelo físico francês Jean Bernard Léon Foucault (1819 – 1868), mas construído apenas em 1928, o freio de Foucault é baseado em frenagem eletromagnética e depende de correntes indutivas parasitas, sob um disco de material diamagnético acoplado ao eixo. São medidas as tensões e correntes no transformadores estáticos afim de medir, de forma indireta, o torque aplicado. É uma medição do tipo reativa. A Figura 3 apresenta uma representação desse sistema.

Figura 03 – O freio de Foucault

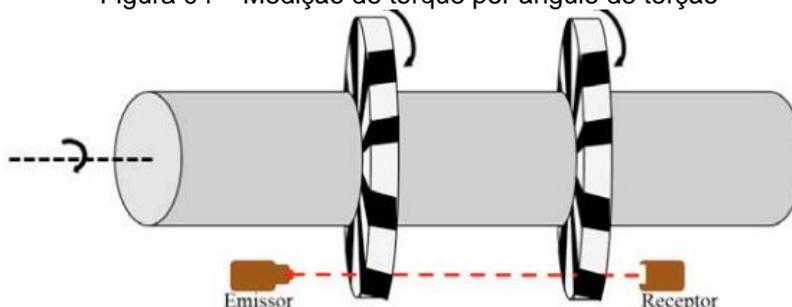


Fonte: Adaptado de Borges et al. (2015).

Medição por ângulo de torção

Como aponta Borges et al. (2015), a medição de torque por ângulo de torção pode ser uma alternativa consideravelmente viável para sistemas dinâmicos. Dentre os diversos métodos apresentados na literatura, é possível destacar métodos ópticos, os quais, como o nome indica, utilizam luz em sua medição. Para o método de medição de intensidade luminosa, dois discos são posicionados com uma determinada distância entre si, ao longo de um eixo. Os referidos discos apresentam regiões transparentes ou vazadas que alternam com regiões opacas ou preenchidas. É crucial que haja alinhamento preciso entre tais discos, estando eles posicionados paralelamente. É posicionado, então um emissor de luz em um dos lados, enquanto que do outro se tem um receptor de luz, capaz de quantificar essa intensidade luminosa. A Figura 4 ilustra esse sistema.

Figura 04 – Medição de torque por ângulo de torção



Fonte: Adaptado de Borges et al. (2015).

Um feixe de luz atravessa os discos sem atenuação de intensidade, numa situação sem torção do eixo. Com o aumento do torque e, conseqüentemente, do ângulo de torção, há uma variação na intensidade da luz captada pelo receptor. Tal variação é proporcional ao torque aplicado sobre o eixo. Essa medição é do tipo indireta.

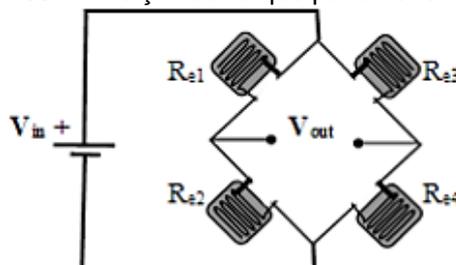
Medição por sensores piezelétricos

A medição de torque por sensores piezelétricos utiliza o efeito descoberto em 1880, pelos irmãos Pierre e Jacques Curie, o qual consiste no deslocamento de cargas elétricas decorrente da aplicação de um esforço mecânico sobre um elemento piezelétrico. Com o esforço, há o aumento do campo elétrico em uma direção específica do material, o que pode ser utilizado para as medições. Segundo Borges et al. (2015), a sensores piezelétricos são comumente utilizados em situações onde se deseja medir deformações muito pequenas. É uma medição do tipo reativa/direta.

Medição por extensômetros

Como os extensômetros são elementos resistivos cuja resistência elétrica sofre variação quando submetidos a esforços mecânicos em direções específicas, há enorme emprego na medição de torque. Em sua grande maioria, são empregados em transdutores com arranjo do tipo ponte, como mostra a Figura 5, para compensações dos efeitos de temperatura e maior resolução das medidas. Sua medição é do tipo direta.

Figura 05 – Medição de torque por extensômetros



Fonte: Adaptado de Borges et al. (2015).

O principal benefício do arranjo apresentado, como aponta Dunn (2013), é a possibilidade de realizar medições precisas. Isso compensa o fato de que os extensômetros costumam apresentar pequenas variações nos seus valores de resistência quando sofrem deformações. A medição em ponte permite identificar essas pequenas variações e permite realizar as medições desejadas. A Equação (3) apresenta o valor de tensão de saída na situação ilustrada pela Figura 5,

$$V_{out} = \left[\frac{R_{e4}}{R_{e3} + R_{e4}} - \frac{R_{e2}}{R_{e1} + R_{e2}} \right] \cdot V_{in} \quad (3)$$

onde V_{out} é a tensão medida, V_{in} é a tensão de alimentação do sistema e R_{e1} , R_{e2} , R_{e3} e R_{e4} são os extensômetros.

O uso de extensômetros para medição de torque é bastante comum, estando presente em diversas aplicações comerciais, oferecendo confiabilidade e praticidade. Apresentadas algumas maneiras de medição de torque, é possível analisar com mais detalhes um elemento vital para o funcionamento do sistema: o transdutor de torque.

3.2.2. Transdutores de Torque 'SMART' Static TD

Os transdutores disponíveis para medição de torque no Laboratório de Grandezas Físicas da Metrologia são do tipo 'SMART' Static TD, da fabricante

Norbar. Os transdutores *SMART* (*Serial Memory Automatic Recognition Transducer*), possuem seus dados e especificações gravados em sua memória, dados esses que podem ser usados para enriquecer e agilizar as medições. A denominação *Static TD* caracteriza que o transdutor é destinado para “ferramentas estáticas”: que não apresentam movimentação no ponto de aplicação de torque. Seu funcionamento é baseado em extensômetros. A Figura 6 ilustra um *SMART Static TD* da Norbar.

Figura 06 – *SMART Static TD* da Norbar



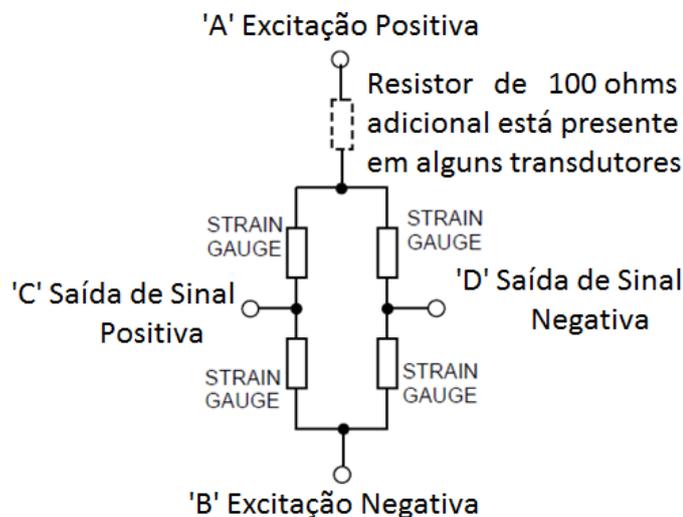
Fonte: Adaptado de '*SMART*' *Static Transducers*, Norbar.

O Laboratório dispõe de três modelos desses transdutores:

- 50589.LOG, que mede torques entre 0,5 N.m e 5 N.m;
- 50592.LOG, que mede torques entre 5 N.m e 50 N.m;
- 50596.LOG, que mede torques entre 50 N.m e 500 N.m.

. A Figura 7 apresenta um esquemático dos transdutores disponíveis, bastante semelhante ao ilustrado na Figura 5. De acordo com o manual do fabricante, entre os terminais 'A' e 'B', há uma resistência de $350 \pm 2 \Omega$ ou $450 \pm 22 \Omega$ e, entre os terminais 'C' e 'D', há uma de $350 \pm 2 \Omega$.

Figura 07 – Esquemático dos transdutores Norbar SMART Static TD



Fonte: Adaptado do Manual do Fabricante, Norbar.

Os transdutores de torque são conectados ao TTT – *Torque Tool Tester Series 3*, que é um instrumento de medição utilizado para indicar as medições dos transdutores de torque. Ele oferece leituras confiáveis e a indicação praticamente instantânea dos valores do ensaio. O TTT oferece também uma saída serial, podendo enviar para um computador os dados de medições adquiridos nos ensaios. Para realizar a impressão, é necessário alimentar o pino 2 de sua entrada *Ancillaries* com os 5 V provenientes do seu pino 1. A Figura 8 apresenta o TTT.

Figura 08 – Norbar TTT Series 3



Fonte: Adaptado do Manual do Fabricante, Norbar.

Torquímetros são ferramentas utilizadas para aplicar um torque específico em elementos fixadores, tais como uma rosca ou um parafuso. Dado que o sistema desenvolvido é responsável por realizar suas calibrações, é interessante apresentar e detalhar esses equipamentos.

3.2.3. Torquímetros

Apesar de existirem diversos tipos, a grande maioria dos torquímetros disponíveis na WEG se resume a elementos pertencentes a dois grandes grupos: torquímetros de indicação, chamados de tipo I, e torquímetros de ajuste, chamados de tipo II. Assim, o presente trabalho apresentará foco nesses dois grupos, detalhando-os e desenvolvendo um sistema para trabalhar com esses elementos. Esses dois grupos serão tratados de forma mais detalhada na sequência.

Torquímetros do tipo I

Considerado o modelo mais básico de torquímetro, seu funcionamento depende, grosso modo, de duas barras. A primeira é uma alavanca, utilizada para aplicar o torque no elemento fixador, e que também serve de manípulo para a

operação da ferramenta. Quando a força é aplicada no elemento fixador, há a deflexão da barra de acordo com a Lei de Hooke. A segunda barra tem uma de suas extremidades presa na ponta do torquímetro (onde o torque é aplicado ao fixador), e a outra, livre – o medidor é preso à mesma. Com a torção (e as leis de Newton e Hooke), o medidor consegue indicar o torque aplicado.

Com a capacidade de indicar, em tempo real, o torque aplicado, o torquímetro de tipo I é ideal para situações onde é possível visualizar o medidor durante a operação e deseja-se verificar o torque atual. Em situações onde a possibilidade de se aplicar um torque acima do limite põe em risco os instrumentos envolvidos, recomenda-se outro tipo de torquímetro. A Figura 9 apresenta um exemplo de torquímetro do tipo I utilizado na WEG.

Figura 09 – Exemplo de torquímetro do tipo I

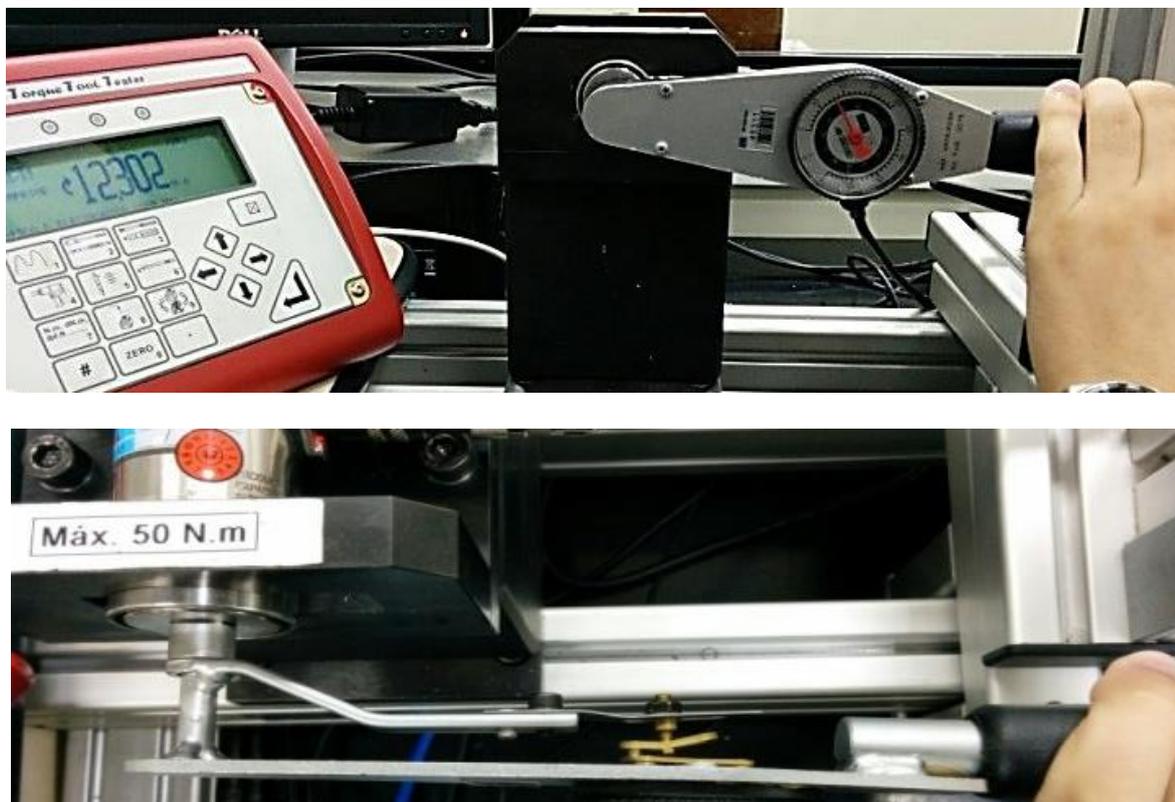


Fonte: Arquivo pessoal.

A Figura 10 apresenta um torquímetro de tipo I em uso, visto por dois ângulos distintos. É possível verificar nelas que há uma considerável discrepância entre os valores apresentados, a qual indica que o instrumento não se encontra calibrado (o que, de fato, procede – o Torquímetro 45311 é um item de reposição,

tendo sido tirado da caixa para testes e ainda não calibrado, como a ausência do selo de calibração já indica). Enquanto que o indicador do torquímetro apresenta um valor em torno de 14 N.m, o padrão indica 12,302 N.m.

Figura 10 – Torquímetro do tipo I em operação



Fonte: Adaptado do Manual do Fabricante.

Para obter o melhor funcionamento do torquímetro de tipo I, o ideal é excursionar uma vez até o torque máximo da ferramenta para aliviar as tensões antes do uso específico, e assim garantir medições mais precisas. Essa ação pode ser realizada pelo menos no início de um turno de trabalho, não necessitando ser realizada toda a vez que a ferramenta for ser utilizada.

Torquímetros do tipo II

O torquímetro de ajuste mostra-se como um refinamento das versões mais simples da ferramenta e apresenta características interessantes: o usuário especifica, ao girar seu manípulo, a quantidade de torque a ser aplicada pelo torquímetro para cada uso. Ao exercer a força necessária para se atingir o torque desejado, o torquímetro emite um clique (podendo este ser extremamente suave ou consideravelmente intenso) e mantém aplicado, ainda que haja algum aumento não

muito intenso de força exercida, o torque especificado. Os torquímetro do tipo II são ideais para situações onde não há muita visibilidade na operação ou em situações onde se deseja aplicar um torque com precisão em algum elemento fixador.

Seu funcionamento depende de molas e travas, usando de diferentes meios para possibilitar o estalo desejado. A Figura 11 apresenta um torquímetro do tipo II, similar aos comumente utilizados na WEG.

Figura 11 – Exemplo de torquímetro do tipo II



Fonte: http://www.tegger.com/hondafaq/torque_wrench/full-view_assembled.jpg.

Usualmente, os operadores chamam o momento em que o torquímetro chega ao torque especificado, e limita seu aumento, de desnucará¹. A Figura 12 apresenta o elemento responsável por emitir o estalo do torquímetro do tipo II.

Figura 12 – Torquímetro do tipo II – detalhe do “desnucamento”



Fonte: http://www.tegger.com/hondafaq/torque_wrench/.

¹ O termo desnucará é utilizado pela equipe de metrologistas do Laboratório de Grandezas Físicas da WEG para designar o momento em que a mola do torquímetro faz com que a catraca solte, acerte a parede da estrutura do torquímetro e emita um clique.

Para aumentar não apenas a vida útil do torquímetro, como também de sua calibração, é importante que o torque ajustado seja retornado ao seu valor mínimo após todas suas seções de uso. Para garantir os melhores resultados, o ideal é excursionar cinco vezes até o torque máximo da ferramenta para aliviar as tensões da mola antes do uso específico, e dessa maneira garantir aplicações mais precisas. Essa ação pode ser realizada pelo menos no início de um turno de trabalho, não necessitando ser realizada toda a vez que a ferramenta for utilizada.

Considerando-se o fato de que o sistema desenvolvido tem como seu propósito a calibração de torquímetros, é pertinente apresentar essa atividade e detalhar seus aspectos, a fim de contextualizar o funcionamento do sistema.

3.3. Calibração de Torquímetros

A calibração de instrumentos como os torquímetros envolve, entre outras coisas, dois elementos cruciais, como indica Albertazzi et al. (2008): o sistema de medição a calibrar (SMC) e o sistema de medição padrão (SMP). Para realizar a calibração, é necessário comparar as indicações do SMC com o SMP, o qual é um sistema de medição que não apresenta erros superiores a 1/10 dos erros do SMC.

O procedimento fixado pela Norma WPS-11214 PT da WEG estipula que o calibrador padrão de torquímetros deve permanecer ligado por 20 minutos, para fins de estabilização, antes do início da calibração, a qual deve ser realizada em condições específicas de temperatura (20 ± 2 °C) e umidade (50 ± 20 %).

O torquímetro deve ser limpo pela equipe da Seção de Metrologia, ficar em repouso por pelo menos uma hora e ter seu funcionamento geral verificado. Após a preparação mecânica do dispositivo de calibração, os torquímetros de estalo (tipo II – aplicação de torque) são acionados cinco vezes até sua capacidade máxima a fim de aliviar as tensões na mola e garantir melhor repetitividade dos resultados. Para os torquímetros de indicação (tipo I), há a orientação de que os mesmos sejam acionados apenas uma vez até a capacidade máxima.

Após o alívio de tensão, o torquímetro é retirado do equipamento de calibração, tanto o padrão quanto o próprio torquímetro são zerados e, após nova preparação mecânica, é iniciado o processo de calibração.

Para os torquímetros de tipo I, a velocidade de operação do motor deve ser escolhida de forma a minimizar eventuais erros de alinhamento do indicador

analógico com a escala. Já para os torquímetros de tipo II, a velocidade de operação do motor deve ser ajustada de maneira a garantir que o valor mínimo seja atingido uma vez que 80% do valor de calibração ajustado seja alcançado.

O Sistema de Controle de Equipamentos de Medição (Sistema CEM) define os pontos ao longo da escala que deverão ser utilizados para a calibração. São realizados cinco ciclos de medição em cada sentido de trabalho (horário e anti-horário), caso o SMC (o torquímetro) permita. Caso, durante um dos ciclos, o ponto determinados for ultrapassado, deve-se anular o ciclo, zerar o SMP (o padrão TTT) e reiniciar a calibração (até a realização correta dos cinco ciclos).

Em uma calibração sem o auxílio de *software*, os valores obtidos são registrados manualmente no Sistema CEM, o qual determinará se o SMC está aprovado ou não. Uma vez aprovado, deve ser realizada a troca do selo de calibração periódica e o dispositivo poderá ser devolvido ao usuário. Caso reprovado, o analista do laboratório deve buscar a causa e corrigir o SMC.

Com os dados apresentados, é possível prosseguir o detalhamento do que foi desenvolvido no projeto. O Capítulo 4 apresenta o início formal do projeto: o Projeto Informacional. É importante considerar o fato de que o sistema automatizado de calibração de torquímetros desenvolvido é referido como “produto” em diversas etapas do projeto, em adequação ao PRODIP.

4. PROJETO INFORMACIONAL

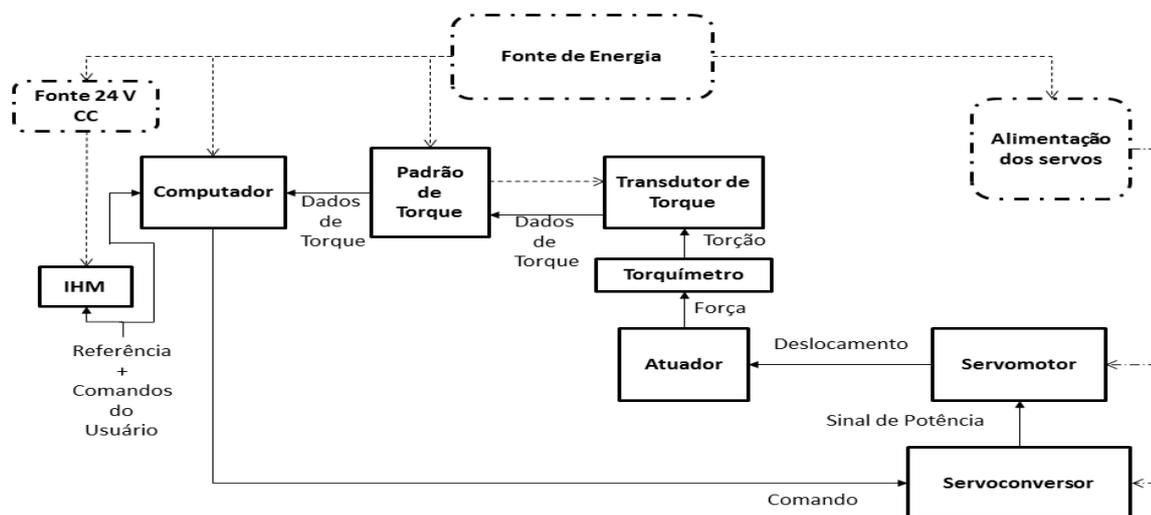
Parte inicial do projeto, a macro fase conhecida como Projeto Informacional, é a etapa onde as diretrizes do projeto são definidas. É interessante ressaltar que, durante esta parte do projeto, o desenvolvimento não depende exclusivamente dos projetistas: os futuros clientes e usuários precisam ser consultados. Ao elucidar-se a problemática do projeto, quais são as necessidades dos clientes a serem satisfeitas, torna-se possível realizar uma análise mais completa do produto, seu ciclo de vida e do mercado que o receberá.

O presente capítulo aborda os temas pertinentes ao Projeto Informacional. A Seção 4.1 delineará a definição do escopo do projeto. O cronograma de execução é apresentado na Seção 4.2, seguido da definição dos fatores de influência do projeto descrita na Seção 4.3. A Seção 4.4 descreverá a análise dos problemas que o sistema anterior apresentava. Por fim, as Seções 4.5 e 4.6 descrevem, respectivamente, os requisitos dos usuários e as especificações do projeto, como proposto pelo PRODIP.

4.1. Definição do Escopo do Projeto

O produto desenvolvido é um calibrador automático de torquímetros, que também oferece a possibilidade do uso manual, para uso no Laboratório de Grandezas Físicas da WEG de Jaraguá do Sul. A Figura 13 apresenta um diagrama do sistema.

Figura 13 – Diagrama do projeto



Fonte: Arquivo pessoal.

4.3. Definição dos Fatores de Influência no Projeto do Produto

De modo geral, um produto dificilmente terá lugar no mercado caso, por ventura, não apresentar valor agregado. No caso de desenvolvimentos feitos especificamente para solucionar problemas em processos industriais, a atenção que deve ser dada para o usuário do sistema e suas necessidades, precisa ser ainda maior.

É importante, também, analisar a adequação tecnológica do sistema original antes de seu aprimoramento, levar-se em conta as normas que regem não só a fabricação, mas o funcionamento do novo sistema desenvolvido.

A versão anterior do sistema, a qual se encontrava no Laboratório de Grandezas Físicas da WEG e com estrutura mecânica fabricada pela empresa Gedore, apresentava os elementos responsáveis pela mecanização advindos da WEG e os elementos mais relacionados à medição de torque provenientes da empresa Norbar. Assim, é possível constatar que o sistema anterior utilizava elementos de empresas referência em seus campos de atuação, sendo fruto de um projeto anterior da Metrologia (não tendo sido comprado como um produto pronto).

É pertinente buscar no mercado a existência de soluções com as funcionalidades desejadas para o produto desenvolvido. Com o presente ritmo das inovações tecnológicas, não há espaço para empregar esforços e recursos na proposição de soluções já disponíveis. Essa análise pode servir como validação das ideias propostas, ou pode até direcionar os esforços para outra atividade, uma vez que a solução encontrada é suficiente.

4.3.1. O mercado

Existem, no mercado, soluções voltadas para a calibração de torquímetros. São sistemas direcionados para laboratórios, oferecendo diferentes níveis de versatilidade e dependência no metrologista responsável pelas calibrações. O nicho de mercado laboratorial ainda está altamente ligado aos procedimentos de representantes de vendas e massivos catálogos, sendo a busca por modelos na Internet mais laboriosa do que as pesquisas por itens com maior número de consumidores (e, portanto, um *marketing* mais abrangente).

O Suretest Basic Calibration System, da Robb Precision Tools, apresenta diversas similaridades com o sistema disponível na WEG. O equipamento oferece

visor com os dados do ensaio (e envia-os para o computador), guarda as últimas 3000 leituras e depende da atuação do usuário para a movimentação: o giro da manivela é transferido para o torquímetro para a realização da calibração. A Figura 14 apresenta o *Suretest Basic Calibration System*.

Figura 14 – *Suretest Basic Calibration System* da Robb Precision Tools



Fonte: <http://www.robbprecisiontool.com/calibration-equipment.html>.

Assim como no caso do *Suretest*, a realização do ensaio depende da ação e esforço físico do metrologista no *Loading Bench* – uma bancada de calibração fabricada pela empresa Mountz e ilustrada na Figura 15. É importante notar que esse produto depende da inclusão de um elemento padrão de medição para apresentar o funcionamento objetivado pela equipe de metrologistas.

Figura 15 – *Loading Bench* da Mountz

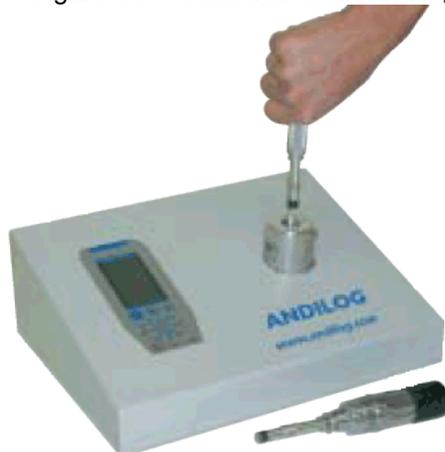


Fonte: <http://www.mountztorque.com/products/loading-bench>.

O *Centormeter* da empresa Andilog é outro sistema de calibração de torquímetros que depende do esforço do metrologista para a realização do ensaio.

Há a possibilidade de enviar os dados da calibração para um computador, mas a faixa de torque aceitável para os ensaios é relativamente baixa para o tamanho e a variedade de torquímetros calibrados no Laboratório da WEG. A Figura 16 apresenta o *Centormeter*.

Figura 16 – *Centormeter* da Andilog



Fonte: http://www.andilog.com/centormeter-torque-calibration-bench-small-capacity.html?category_id=17.

Apesar de trazerem alguns conceitos interessantes, é possível afirmar que nenhum dos sistemas apresentados acima poderia substituir o sistema anteriormente presente no Laboratório de Grandezas Físicas da WEG, ao menos se forem utilizados conforme foram comercializados, sem adaptações. A dependência no esforço físico do metrologistas para efetuar a calibração é, ao considerarmos a quantidade diária de torquímetros a serem calibrados no mês de fevereiro, proibitiva.

Essa etapa do projeto foi focada nos produtos comerciais: soluções que pudessem ser adquiridas e prontamente postas em uso. Apesar do sistema tema do presente trabalho poder ser visto como um produto – uma solução para a calibração de torquímetros para laboratórios – não foram pesquisadas patentes de produtos específicos para esse fim. Não há interesse, atualmente, em comercializar a solução, apenas no aprimoramento das condições de trabalho no Laboratório de Grandezas Físicas da WEG, fato que fundamentou a decisão de não pesquisar patentes.

Na sequência, dado o rigor das operações laboratoriais, será feita a apresentação e detalhamento das normas regulamentadoras.

4.3.2. Análise das normas regulamentadoras

As seguintes normas regulamentadoras da empresa, baseadas em normas internacionais e nacionais, foram identificadas como pertinentes para o desenvolvimento:

- **WMM-2439 PT – Manual da Qualidade da Seção de Metrologia**

Este documento descreve o Sistema de Gestão da Qualidade para a Seção de Metrologia de Jaraguá do Sul, compreendendo todos os seus laboratórios.

- **WPS-6046 PT – Critérios Gerais para Calibração de Instrumentos de Medição de Torque**

Esta Norma traz o procedimento geral de calibração de instrumentos de medição de torque.

- **WPS-10733 PT – Transporte, acondicionamento e manuseio de equipamentos de medição**

Esta Norma estabelece os procedimentos necessários para o transporte, acondicionamento e manuseio de equipamentos de medição, com o objetivo de assegurar que o mesmo seja feito de forma segura, garantindo-se assim a conformidade técnica e o critério de aceitação destes equipamentos.

- **WPS-19695 PT – Calibração de Equipamentos de Medição**

Esta Norma estabelece os procedimentos a serem realizados para a calibração de equipamentos de medição.

- **WPS-20409 PT – Análise dos Resultados da Calibração**

Esta Norma define os passos a serem seguidos pelo analista responsável da Metrologia para a análise de resultados da calibração de equipamentos de medição.

- **WPS-21121 PT – Apontamento dos resultados da calibração no SAP**

Esta Norma estabelece os procedimentos para apontar os resultados das calibrações no sistema integrado de gestão empresarial SAP, utilizado pela WEG.

- **WPS-11214 PT – Calibração de Torquímetro**

Esta Norma fixa o procedimento a ser seguido na calibração de torquímetros com faixa de medição de até 500 N.m.

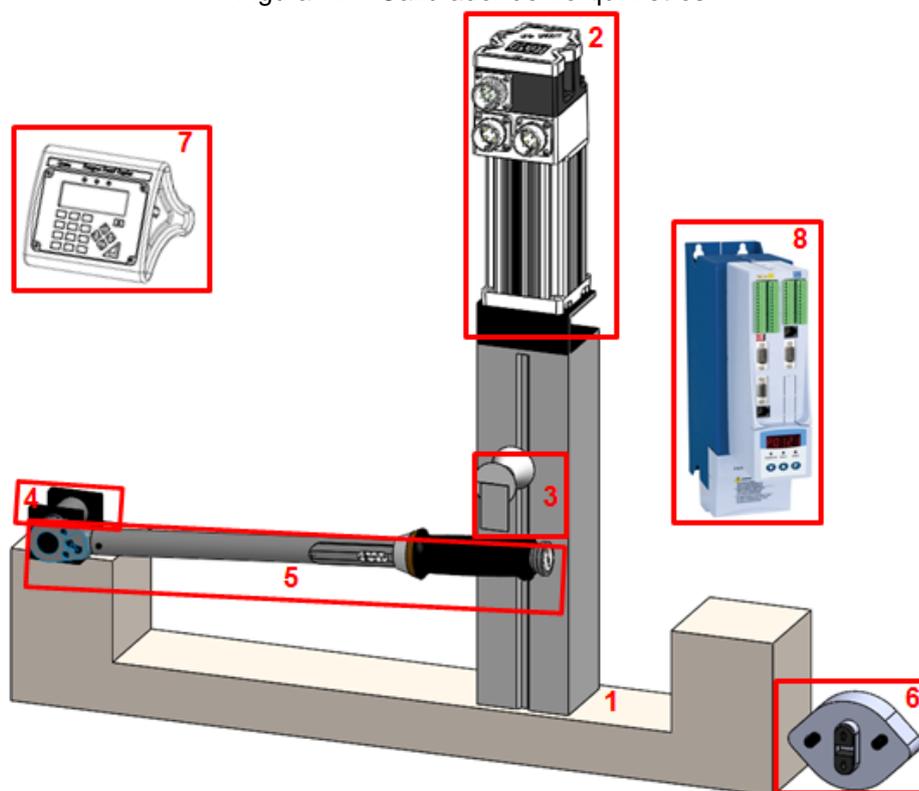
Com a análise de mercado servindo como validação da ideia do projeto e as normas norteando o desenvolvimento, é interessante analisar a iteração anterior do

sistema para encontrar suas qualidades e defeitos, levando-os em conta nos desenvolvimentos seguintes.

4.3.3. Análise do Calibrador Mecanizado de Torquímetros

O sistema anterior para calibração de torquímetros, representado na Figura 17, oferece ao operador a possibilidade de calibrar torquímetros de dois tipos: de indicação ou de ajuste (tipo I ou II, respectivamente). As diferenças principais estão relacionadas às velocidades padrões habilitadas.

Figura 17 – Calibrador de Torquímetros



Fonte: Arquivo pessoal.

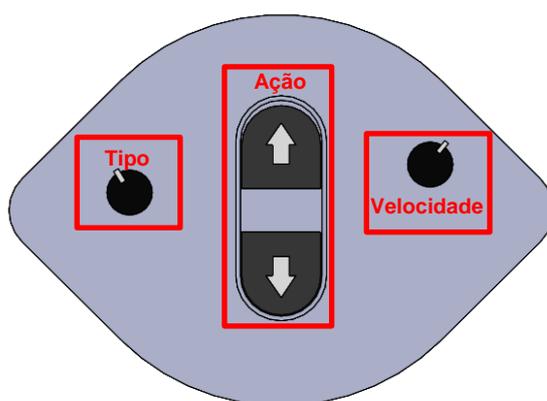
Os elementos componentes do sistema enumerados na Figura 17 são:

1. estrutura mecânica;
2. servomotor SWA-40-2,6-30;
3. atuador de força;
4. transdutor *Norbar SMART* de Torque *Static TD*;
5. torquímetro a ser calibrado;
6. IHM;
7. *Norbar TTT Series 3*;
8. servoconversor SCA-05.

O operador, além de escolher o tipo de torquímetro, pode optar por levantar ou abaixar o atuador e também selecionar a velocidade dessa atuação com um potenciômetro. O servoconversor SCA-05 garante não só a ativação correta do motor como a velocidade deste. Visto que não havia computador disponível na bancada, o sistema não possuía um *software* específico para ser utilizado durante os ensaios de calibração: o operador precisava utilizar o computador de outra bancada para entrar com os dados no banco de dados da WEG.

A Figura 18 apresenta uma representação da IHM anteriormente disponível.

Figura 18 – IHM do calibrador de torquímetros



Fonte: Arquivo pessoal.

A IHM possibilita que o usuário decida a ação que o sistema fará a seguir, estando presente em um módulo com botões e potenciômetros. Definiu-se como requisito importante de projeto a integração de suas funcionalidades ao *software* de calibração automática, com o teclado substituindo a IHM, ato que simplifica o sistema e diminui seu número de elementos componentes.

É importante frisar que a mecanização oferecida anteriormente já é um grande passo rumo ao aprimoramento do processo de calibração, uma vez que ela garante aplicação de força constante na posição ideal, com uma janela de ocorrência de erros bastante menor.

Para compreender melhor o funcionamento do sistema anterior, é interessante analisar os itens enumerados na Figura 17.

1. Estrutura Mecânica

A estrutura mecânica do calibrador oferece a rigidez necessária para a operação de calibração. Há a possibilidade de se trabalhar com instrumentos de

diferentes tamanhos, dada a capacidade de realizar ajustes de posicionamento. É possível verificar certo espelhamento, que permite a calibração de instrumentos atuados no sentido horário e anti-horário. A estrutura mecânica é composta, em sua maior parte, por perfis de alumínio.

Sua fabricação é alemã, pela empresa Richard Abr. Herder GmbH & Co. KG. A estrutura possui limitação de 1000 N.m para calibrações, mas o Laboratório realiza calibrações de instrumentos até, no máximo, metade desse valor.

A Figura 19 apresenta uma estrutura semelhante em uma aplicação apresentada num catálogo da Gedore, empresa especializada em medição de torques, e atual proprietária da fabricante da estrutura utilizada. Um dos requisitos do projeto é o uso da estrutura mecânica da Richard Abr. Herder GmbH & Co. KG, atual Gedore.

Figura 19 – Estrutura mecânica da Gedore



Fonte: Catálogo Gedore.

A estrutura mecânica permite ajustes para se trabalhar com torquímetros de diferentes tamanhos, uma vez que o processo de calibração será o mesmo.

2. Servomotor SWA-40-2,6-30

O servomotor apresenta 0,63 kW de potência, com o torque de rotor bloqueado de 2,6 N.m, corrente nominal de 3,2 A e a corrente máxima de 11,2 A.

3. Atuador de força

O atuador é composto por uma peça metálica presa ao eixo onde o motor atua. Com ele, é possível aplicar forças aos torquímetros quando o eixo é girado.

4. Transdutor Norbar SMART Static TD

O laboratório dispõe de três transdutores de torque, cada um com uma faixa de valores permitida. Com os três, é possível calibrar torquímetros entre 5 N.m à 500 N.m. Ainda que a WEG possua torquímetros com limites fora dessa faixa, não se mostra interessante adquirir outros transdutores para aumentá-la.

5. Torquímetro a ser calibrado

Os torquímetros calibráveis no sistema são do tipo I ou II, podendo ser digitais ou analógicos. Sua faixa de operação está entre 5 N.m e 500 N.m.

6. IHM

A IHM, apresentada na Figura 18, oferece ao usuário a possibilidade de comandar o funcionamento do sistema.

7. Norbar TTT Series 3

O padrão utilizado é responsável por receber os sinais dos transdutores de torque e tratá-los para uso.

8. Servoconversor SCA-05

O servoconversor, disponível no modelo SCA-050004T2223PSZ, opera no modo de velocidade e é responsável por garantir que o sistema se comporte de acordo com os comandos enviados na IHM. Sua corrente nominal é de 4 A, sua tensão de operação é 220 – 230 V trifásico e o mesmo não oferece acessórios.

No sistema anterior, o servoconversor encontrava-se instalado em uma caixa de madeira, juntamente com seu transformador. É possível verificar essa solução apresentava problemas de ventilação que, como aponta o manual do servoconversor, podem causar queda de rendimento do sistema.

Na sequência, serão analisados os problemas encontrados no calibrador de torquímetros que estava disponível no Laboratório de Grandezas Físicas da WEG.

4.4. Problemas do calibrador de torquímetros mecanizado

Como o objetivo geral do projeto envolvia a atualização tecnológica de um sistema que se encontrava funcional, a análise do referido sistema e a identificação de problemas técnicos e operacionais foi deveras importante. Um possível perigo de projetos de atualização tecnológica é não identificar problemas existentes e mantê-los (ou aumentá-los) na nova versão.

Foram identificadas os seguintes problemas no sistema anterior:

1. Travamento causado por temperatura.

Possível causa: Armazenagem inadequada dos elementos de potência em um local com pouca/nenhuma ventilação.

2. Risco de dano ao transdutor.

Possível causa: Ausência de limites para proteção dos transdutores. Atualmente, o sistema apresenta apenas sensores de fim de curso, os quais garantem proteção estrutural.

3. Risco de perda de dados.

Possível causa: Os dados dos ensaios são adquiridos de maneira visual e dependem totalmente do operador para serem armazenados.

Na sequência, serão apresentados os requisitos do usuário, que ditaram diversas escolhas e desenvolvimentos do sistema e as especificações do sistema.

4.5. Requisitos do Usuário

Após consultas ao corpo técnico da Metrologia, tanto aos projetistas quanto aos técnicos responsáveis pelas calibrações, foram levantados os requisitos do usuário. É importante notar que, dado o conhecimento da equipe, não foi necessário filtrar os dados coletados para uma linguagem mais técnica. Em poucas palavras, o calibrador automático precisa ser tão eficiente quanto os procedimentos totalmente manuais, mas com maior segurança e confiabilidade – ele deve oferecer recursos que reduzam as possibilidades de erro (ou as consequências destes). Desse modo, foram considerados como requisitos do projeto:

- oferecer possibilidade de alterar algum ponto passado das calibrações;
- utilizar o padrão Norbar TTT Series 3;
- utilizar a estrutura mecânica da Gedore;
- apresentar interface intuitiva;
- apresentar fabricação simples;
- ser robusto;
- oferecer modo de calibração manual (com limites de segurança);
- utilizar servomotor e servoconversor WEG;
- ter compatibilidade com a grande maioria dos torquímetros do grupo WEG;
- apresentar repetitividade;

- oferecer ajuste de velocidade;
- inclusão de um computador ao sistema;
- ter performance igual ou superior ao procedimento manual;
- oferecer entrada de comandos pelo computador;
- apresentar alinhamento com as normas de calibração de torquímetros;
- oferecer modo de calibração automática (torquímetro tipo II);
- oferecer compatibilidade com o sistema da WEG e seus procedimentos;
- apresentar baixo custo de implementação para a empresa.

4.6. Especificações do Projeto

Ainda que os requisitos do usuário já estejam em uma linguagem mais técnica, ainda há muita subjetividade. Assim, partindo-se dos requisitos, é interessante a realização de um refinamento que considere desde as dimensões físicas do sistema até os riscos envolvidos no não cumprimento dos requisitos. Com esse procedimento, foram propostas as especificações do projeto apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Especificações do Projeto

Especificações	Descrição das Especificações	Modo de verificação	Possíveis riscos do não-cumprimento	Unidade	Valores-meta
Baixo tempo de ciclo	O sistema executa a calibração no menor tempo possível	Análise objetiva do processo	Maior demora no processo, aumento das filas	Segundo (s)	1080 s (18 minutos)
Elevada Repetitividade	Apresentar elevada e constante precisão independente da duração do uso	Teste de estresse e repetições	Inviabilidade funcional e falha no propósito do projeto	Adimensional	–
Simples Manutenção	Os processos de manutenção devem ser simples e seguros	Análise objetiva do sistema e testes	Falhar parcialmente no propósito	Adimensional	–

Simplicidade de Operação	O calibrador deverá funcionar de maneira simples, intuitiva e que não requeira grande esforço físico do metrologista	Análise objetiva do produto	Falhar em seu propósito	Adimensional	–
Elevada Segurança	O produto deverá operar sem oferecer riscos ao usuário e ao sistema	Análise objetiva do produto e testes	Inviabilidade funcional e falha no propósito do projeto	Adimensional	–
Funcionamento conforme as normas	O produto deverá operar de acordo com as Normas WPS-11214 e WPS-6046	Análise objetiva do produto e testes	Inviabilidade funcional e falha no propósito do projeto	Adimensional	–
Elevada Compatibilidade	O produto deverá ser compatível com os sistemas utilizados na WEG	Análise objetiva do produto e testes	Inviabilidade funcional	Adimensional	–
Especificações	Descrição das Especificações	Modo de verificação	Possíveis riscos do não-cumprimento	Unidade	Valores-meta

O Capítulo 5 trata do início da fase de elaboração de ideias e conceitos do projeto: o Projeto Conceitual. Com a definição formal das funções a serem executadas, além da proposição de soluções para o sistema, o projeto toma mais forma e pode continuar a ser desenvolvido.

5. PROJETO CONCEITUAL

A partir das diretrizes e especificações propostas no Projeto Informacional tratado no capítulo anterior, foi possível iniciar o desenvolvimento de ideias que visavam suprir as necessidades dos clientes. Essa etapa chama-se Projeto Conceitual e, antes de propor possíveis formas as quais o sistema poderia tomar, foi realizada uma identificação das funções que ele deveria apresentar. É natural que tenha havido espaço para contribuições e direcionamentos advindos do qualificado corpo técnico da empresa, uma vez que o projeto não possui caráter comercial e foi idealizado e desenvolvido para suprir uma necessidade empresarial.

Não havia muitos detalhes e especificações nesse momento, com o foco sendo a proposição e validação de ideias a serem aprimoradas nos capítulos seguintes, além de serem detalhadas e acrescidas de dimensionamentos. Ao final desta etapa do projeto, restou uma concepção escolhida, a qual continuou a ser desenvolvida no projeto.

O presente capítulo aborda os temas pertinentes ao Projeto Conceitual. A Seção 5.1 trata da definição da estrutura funcional do projeto. A Seção 5.2 descreve o detalhamento da concepção do sistema.

5.1. Definição da Estrutura Funcional

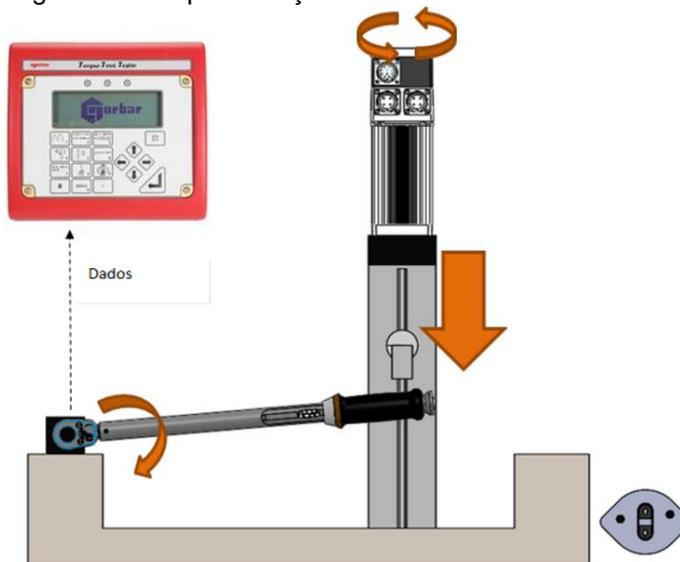
Para chegar-se na estrutura funcional, optou-se pelo uso do método da síntese funcional: uma sistematização das funções que o produto deve atender, disposta de maneira visual e prática. Optou-se pela divisão ideológica do sistema a ser desenvolvido nas seguintes partes: mecânica, eletroeletrônica e de *software*. Isso acontece devido ao fato do calibrador de torquímetros apresentar certa complexidade se analisado puramente quanto à sua função, uma vez que a operação do sistema depende de fatores diversos e interligados, e a divisão permite maior detalhamento (e facilidade de identificação) das partes componentes.

A síntese funcional completa do sistema encontra-se no Apêndice A, com os detalhamentos das funções.

O calibrador, por causa do giro do servomotor e da estrutura mecânica, aplica força no torquímetro. Pela fixação do equipamento de medição e pela própria estrutura, há uma movimentação circular e a aplicação de um torque no transdutor

de torque. A Figura 20 apresenta o sistema anterior com indicações das atuações, com o foco nos elementos que estavam ao alcance do operador.

Figura 20 – Representação do funcionamento do sistema



Fonte: Arquivo pessoal.

5.1.1. Função global

Foi necessária a definição de uma função global, que representasse a principal função do produto, devido ao método escolhido. Essa função global é uma frase que, sem indicar a forma como o problema será resolvido, informa de maneira condensada e abstrata a função do produto.

A função global do sistema é, portanto, calibrar torquímetros. A Figura 21 apresenta a função global do sistema, além de suas entradas e saídas. Não há a especificação da maneira como o sistema calibrará os torquímetros, mas a função global proposta já carrega um resumo do propósito do sistema.

Figura 21 – Função global com suas entradas e saídas



Fonte: Arquivo pessoal.

Com a análise do problema, perceberam-se elementos à disposição e que necessitam ser transformados, pela função global, para que o objetivo seja alcançado e o sistema opere como desejado. As entradas encontradas foram:

- energia de alimentação **[E1]** – Responsável pelo funcionamento da parte eletroeletrônica do sistema;
- comandos do usuário **[E2]** – Afetam o comportamento e as informações que o sistema fornecerá;
- torquímetro para calibrar **[E3]** – Equipamento de medição a ser calibrado;
- dados do TTT **[E4]** – Dados relativos ao torque medido;
- dados do torquímetro **[E5]** – Informações do Torquímetro.

Após as entradas serem expostas e processadas pelo sistema, espera-se que a operação desenvolva-se conforme esperado. As saídas são os objetivos a serem atingidos para o cumprimento do propósito do produto. Neste projeto, as seguintes saídas foram identificadas:

- informações ao usuário **[S1]** – Resultado da forma como o sistema está se comportando;
- informações ao SAP **[S2]** – Dados da calibração para serem colocados no certificado do equipamento;
- torquímetro calibrado **[S3]** – Resultado da operação do sistema.

5.1.2. Funções parciais

O detalhamento da função global gera as funções parciais do produto desenvolvido, as quais explicitam o real funcionamento do produto. O sistema foi separado em três partes, cada qual com suas funções parciais. São elas:

1. Parte mecânica:

- aprimorar;
- proteger;
- calibrar.

2. Parte eletroeletrônica:

- gerar;
- converter;
- apresentar.

3. Parte de *software*:

- simplificar;
- integrar;
- controlar;
- comandar.

Visto que certas funções parciais podem não expressar completamente algumas informações importantes para o projeto, faz-se interessante decompô-las em subfunções, que são problemas a serem resolvidos pelo projetista. Há também uma explicação da subfunção para reduzir problemas com compreensão, apresentada na tabela 3.

Tabela 3 – Funções parciais, subfunções e explicações

Função Parcial	Subfunção	Explicação
Parte Mecânica		
Aprimorar	Apresentar <i>design</i> apropriado	Apresenta <i>design</i> de acordo com o perfil dos usuários e as normas vigentes
	Garantir operação ótima do sistema	Oferece as condições ideais para os componentes operarem de forma ideal
Proteger	Evitar danos à saúde do usuário	Garante proteção ao usuário em situações insalubres, como partes quentes ou móveis, durante a operação da máquina
	Fixar componentes	Facilita a manutenção e aumenta a segurança
	Apresentar material resistente	Aumenta a vida útil e segurança do produto
Calibrar	Calibrar os torquímetros	Garante que os torquímetros sejam adequadamente calibrados
Parte Eletroeletrônica		
Gerar	Gerar sinais necessários para o comportamento desejado	Garante que o servomotor receba o comando do usuário e funcione de maneira adequada
Converter	Converter tensão de entrada para tensão apropriada	Proporciona a alimentação geral do sistema
	Converter tensão em sinal	Possibilita a configuração eletrônica do produto
Apresentar	Exibir dados da operação	Disponibiliza os dados referentes à operação do sistema

Parte de <i>software</i>		
Simplificar	Simplificar o processo de calibração	Torna o processo de calibração mais simples e oferece menos chances de dar erro
Integrar	Realizar integração entre a parte mecânica e a eletroeletrônica do sistema	Garante que o sistema terá o comportamento desejado proveniente da integração da parte mecânica e eletroeletrônica
Controlar	Controlar o sistema	Possibilita que o sistema comporte-se como desejado
Comandar	Garantir o funcionamento desejado dos componentes do sistema	Garante que as partes integrantes do sistema se comportem de acordo com o desejado

Com a definição da estrutura funcional, é possível detalhar a concepção do sistema.

5.2. Detalhamento da Concepção

Para a proposição de concepções do produto, houve uma estrutura base comum, a partir da qual as possibilidades foram propostas. Enquanto que não foi realizado o desenvolvimento de diversas concepções, divergindo um pouco dos métodos propostos pelo PRODIP (os quais mencionam a importância da elaboração de diferentes concepções para fins de comparações e refinamento), foram propostas múltiplas soluções para os problemas. Em diálogos com o corpo técnico da Seção de Metrologia, foi realizado um refinamento das referidas soluções. Pautando-se nas suas opiniões e experiências, algumas ideias foram descartadas ou refinadas antes da formalização em *softwares* CAD (*Computer-Aided Design* – desenho assistido por computador) e outras ferramentas.

A parte mecânica do sistema já se encontrava praticamente pronta antes do desenvolvimento do sistema, tendo sido necessária apenas a proposição de alguns novos elementos. A eletroeletrônica consiste nas conexões entre os elementos do sistema, os elementos de proteção e o desenvolvimento de uma placa de circuito impresso que auxilie na leitura do sinal analógico e no comando do sistema. O *software* do sistema é executado em um computador, sendo desenvolvido em *LabVIEW*, enquanto que o servoconversor possui um programa em *Ladder* para permitir o funcionamento desejado. As escolhas estão de acordo com as práticas da Metrologia, fazendo uso de equipamentos WEG e da National Instruments. A

linguagem gráfica *LabVIEW* facilita a comunicação de instrumentos integrados ao computador de maneira confiável e eficaz.

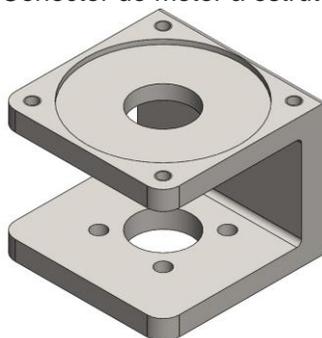
Apesar de o sistema desenvolvido conservar vários elementos e características do modelo passado, faz-se importante salientar que o projeto realizado é novo e autoral, desenvolvido pelo autor sob orientação dos membros do corpo técnico da Seção de Metrologia da WEG e do Professor Hector Bessa Silveira, orientador do estágio.

5.2.1. Parte Mecânica

A dita parte mecânica envolve o projeto de peças que são necessárias para a integração dos elementos, além do quadro elétrico e a caixa com o botão de emergência.

Como foi constatado que o torque oferecido para o motor não era suficiente para o trabalho em toda a faixa de operação necessária e optou-se pela troca desse elemento, fez-se necessário atualizar o projeto da peça que fixa o motor na estrutura mecânica, pois o motor necessário apresentava dimensões diferentes do anterior. A Figura 22 apresenta o novo elemento.

Figura 22 – Conector do motor à estrutura mecânica



Fonte: Arquivo pessoal.

A peça que faz o acoplamento entre o motor e o eixo da estrutura mecânica também precisou ser atualizada, visto que o eixo do motor é maior do que o do anterior. A Figura 23 apresenta o acoplador desenvolvido.

Figura 23 – Acoplador do motor ao eixo



Fonte: Arquivo pessoal.

Outra mudança requisitada foi a retirada da IHM antiga, com a atribuição de suas funções ao teclado do computador. Após muita deliberação com os metrologistas responsáveis pela calibração de torquímetros, foi proposta uma solução que estivesse de acordo com a inclinação de simplificar o sistema e reduzir seu número de elementos, mas sem prejudicar a operação. A conclusão de que a variação de velocidade deveria ser mantida na ação de um potenciômetro, para garantir melhores resultados, gerou a concepção de uma nova IHM ilustrada na Figura 24.

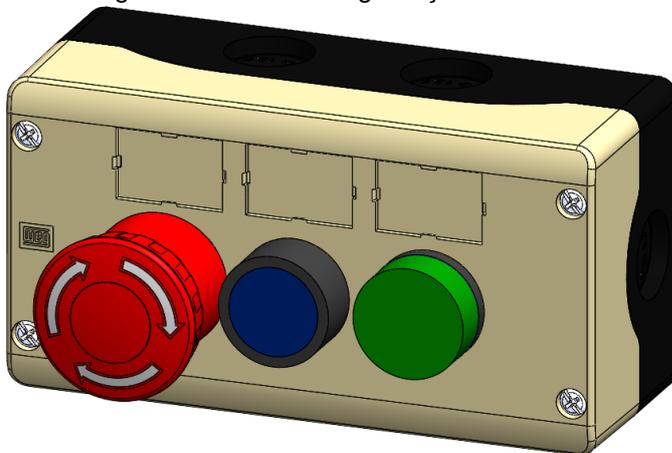
Figura 24 – Potenciômetro para variação de velocidade



Fonte: Arquivo pessoal.

Para garantir a segurança do sistema como um todo, decidiu-se por adicionar uma interface que oferecesse ao usuário um botão de emergência e uma indicação de que o sistema encontra-se energizado. A Figura 25 apresenta a interface proposta, a qual utiliza elementos WEG.

Figura 25 – IHM de segurança do sistema

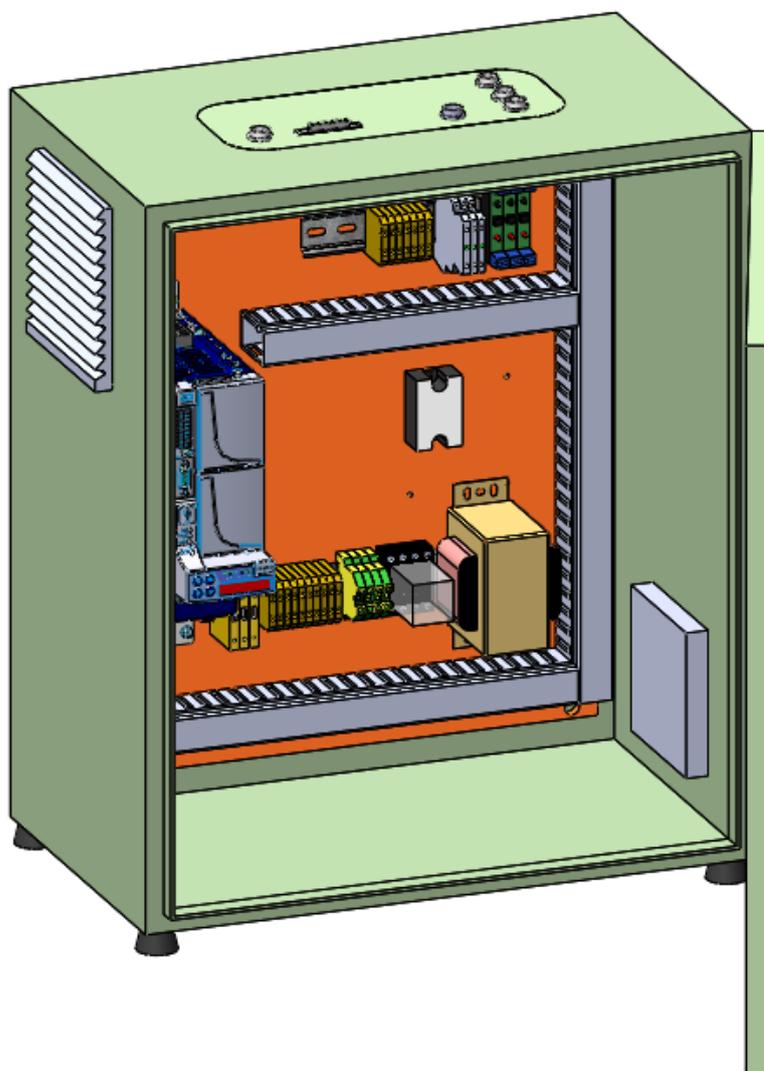


Fonte: Arquivo pessoal.

Em um primeiro momento, a proposição de uma nova IHM e a introdução de elementos de segurança parecem contradizer a ideia de simplificar e diminuir a quantidade de elementos no sistema. Uma análise mais criteriosa permite constatar que: a inclusão dos elementos de segurança é necessária para proteger o operador; a proposta de uma IHM menor mas que mantivesse a variação de velocidade por meio de um potenciômetro traria os melhores resultados. As decisões concepcionais estão, portanto, de acordo com as diretrizes do projeto.

Para sanar os problemas ocasionados pelo gabinete elétrico inadequado, optou-se pelo uso de um quadro elétrico metálico, com os componentes fixados em uma chapa instalada no seu fundo. A Figura 26 traz uma representação do quadro elétrico do sistema.

Figura 26 – Representação do quadro elétrico do sistema



Fonte: Arquivo pessoal.

5.2.2. Parte Eletroeletrônica

A parte eletroeletrônica interliga os elementos, protege-os e possibilita que o funcionamento do sistema seja o desejado. Há disponível uma alimentação trifásica de 380 V. Os componentes eletrônicos do sistema são:

- servoconversor;
- servomotor;
- computador com porta serial e Ethernet;
- indicador padrão de torque;
- sinaleiro indicador de energização do sistema;
- chave geral seccionadora;
- disjuntor geral;
- disjuntor de segurança;
- contator de emergência
- exaustor;
- botão de emergência;
- botão de *reset*.

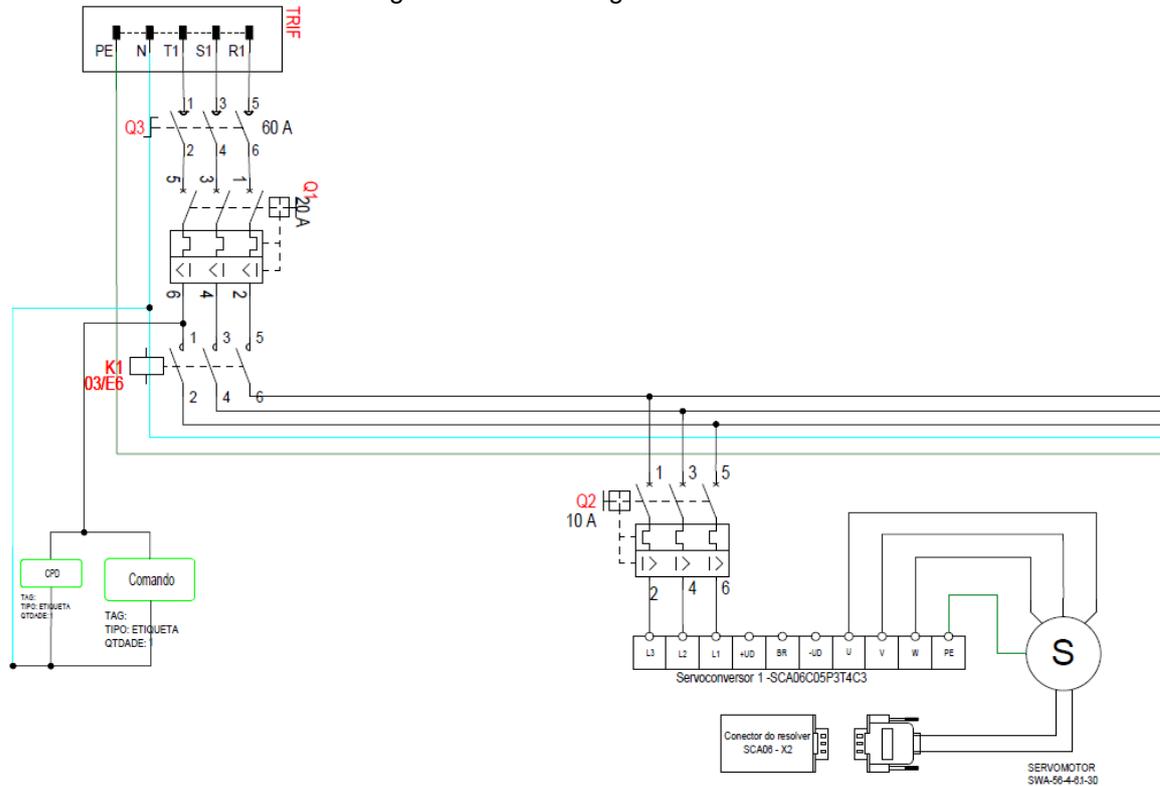
Do ponto de vista elétrico, o funcionamento do sistema envolve o acionamento de um motor de acordo com o sinal enviado por um computador, que deve ser capaz de ler os envios de equipamento de medição. Para obter-se o funcionamento desejado em situações variadas e estar de acordo com as normas de segurança, julgou-se necessário acrescentar ao sistema elementos de proteção e segurança.

Apesar de haver concentração de elementos elétricos e eletrônicos no quadro elétrico, componentes como o computador e o padrão de torque não estão inclusos no quadro. Com a conexão serial entre os dois componentes citados, é possível para o computador adquirir o valor de torque lido no ensaio.

Para oferecer ao usuário a informação de que o sistema já se encontra energizado, além da segurança da parada emergencial acionada por botão, optou-se pela instalação desses elementos em uma IHM. Após o travamento do sistema pelo botão de emergência, só será permitido o reinício da operação no caso do botão de emergência ter sido liberado, além de o sistema estar pronto e o botão de *reset* ter sido pressionado.

Com os elementos identificados, é possível propor um diagrama com as conexões entre eles. A Figura 27 apresenta o diagrama de conexões elétricas da parte de potência.

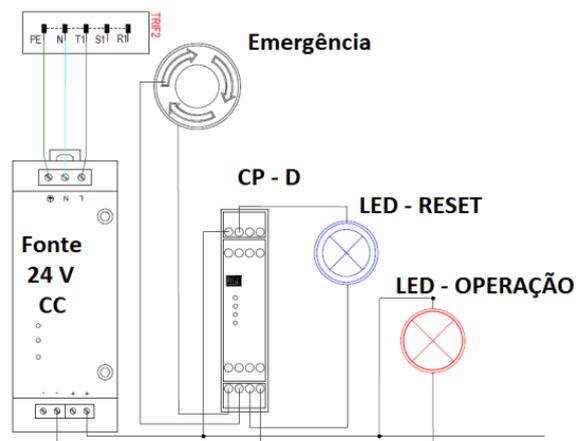
Figura 27 – Circuito geral do sistema



Fonte: Arquivo pessoal.

Há uma parcela do quadro elétrico que está relacionada à tensão de 24 V e corrente contínua, e a Figura 28 apresenta os elementos que operam nessa faixa de tensão: o relé de segurança, os LEDs que indicam se o sistema está energizado e o botão de emergência.

Figura 28 – Conexões elétricas

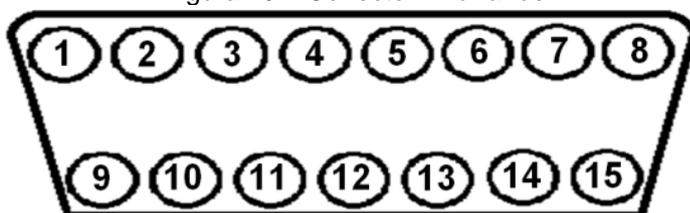


Fonte: Arquivo pessoal.

Para a realização da comunicação entre o sistema e o padrão de torque, faz-se uso da entrada *Ancillaries* que o padrão oferece. Para tanto, foi confeccionado um cabo com um conector DB-15 para ser conectado no padrão de torque em uma extremidade e com as pontas soltas na outra, para a conexão com o restante do sistema quando for realizada a montagem.

A Figura 29 traz o conector DB-15 do padrão de torque com a identificação dos seus cabos. Apesar não se planejar o uso de todos esses cabos no projeto, achou-se pertinente disponibilizar todos no conector, facilitando desenvolvimentos, permitindo expansões e modificações no futuro.

Figura 29 – Conector *Ancillaries*



Fonte: Arquivo pessoal.

Conforme o manual do fabricante, pinos listados na Figura 29 são:

1. +5 V (digital);
2. entrada externa para Impressão/Reset do valor de torque apresentado na tela;
3. saída de torque no limite inferior;
4. saída de torque dentro dos limites estipulados;
5. saída de torque no limite superior;
6. não utilizado pelo padrão;
7. não utilizada pelo padrão;
8. entrada para *reset* automático da tela;
9. 0 V (digital);
10. saída da detecção do primeiro pico de torque;
11. saída analógica;
12. saída analógica em torno de 2,5 V;
13. saída analógica com referência de 0 V;
14. saída de um transdutor que indica ângulo (canal A);
15. saída de um transdutor que indica ângulo (canal B);

Para que o padrão apague seu valor de torque lido e o envie via porta serial, é necessário que o sinal do pino 1 chegue no pino 2 (o padrão apresentou problemas quando se tentou alimentar o pino 2 com um sinal de 5 V externo). As saídas analógicas, apesar de não terem um propósito imediato no projeto, poderão ser utilizadas em versões posteriores, que visem o aumento da automação do sistema e a diminuição da presença do operador no seu funcionamento (mas sem utilizar o sinal para apresentar em certificados).

Em um primeiro momento, identificou-se a necessidade do desenvolvimento de pelo menos dois circuitos para o funcionamento do sistema: um com opto acoplador para permitir que o *software* solicite o envio do torque medido e outro para a leitura da saída analógica do padrão de torque. Após análise cuidadosa, verificou-se que a precisão da saída analógica era insuficiente para ser utilizada de maneira satisfatória, sendo utilizada apenas os dados provenientes do padrão (e apresentados em sua tela)..

5.2.3. Programação e Controle

Identificou-se a necessidade do desenvolvimento de um *software* específico para a calibração de torquímetros, baseado nos outros desenvolvimentos da Metrologia. Faz-se necessário destacar a importância da existência de compatibilidade do sistema desenvolvido com os demais utilizados na WEG. Para tanto, uma abordagem de desenvolvimento modular foi ideal, visto que as soluções propostas poderiam ser utilizadas tanto de maneira individual quanto em situações que requeiram o funcionamento conjunto.

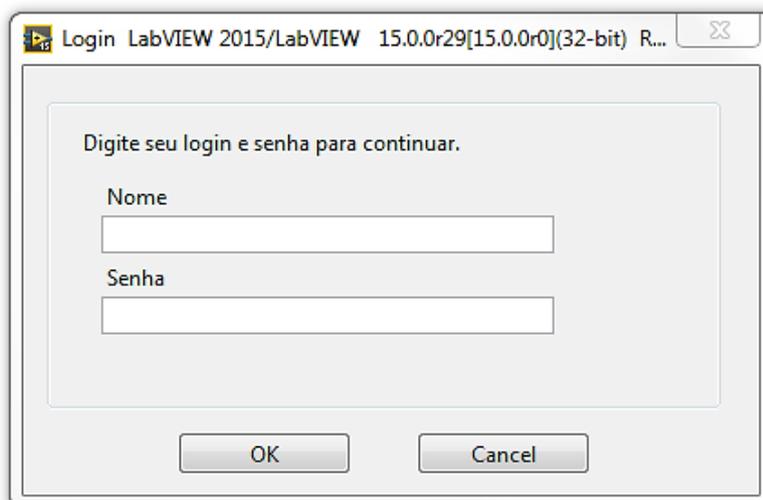
A programação é responsável por captar as informações do transdutor do sistema e os comandos do usuário da IHM, garantindo que a máquina desempenhe o comportamento desejado. É necessário, também, programar algumas características no servoconversor, em *Ladder*, para garantir o funcionamento desejado.

Aliada à especificação de uso de produtos WEG, a opção pelo uso do *LabVIEW* e sua linguagem de programação (G, criada pela National Instruments), trouxe vários benefícios para o desenvolvimento do sistema. A Seção de Metrologia da WEG, além de utilizar diversos equipamentos da National Instruments nos seus diversos desenvolvimentos (pela combinação de suporte técnico, qualidade e confiabilidade oferecidos pelos equipamentos), tem grande experiência no seu uso

no desenvolvimento de sistemas. A integração de equipamentos WEG com sistemas desenvolvidos no *LabVIEW* é em muito beneficiada por essa experiência da seção e permite que novos projetos sejam feitos com resultados cada vez melhores.

Em relação ao uso, o usuário deve inicialmente entrar com seu nome e senha para iniciar a calibração. É importante realizar essa verificação para registrar no sistema o operador que realizou a calibração, Então o nome e senha devem ser os seus de uso comum na WEG. Optou-se por não apresentar todas as telas desenvolvidas nessa etapa de concepção porque, apesar de ter valor para comparação e atestar a evolução do projeto nas suas diferentes etapas, não há muita contribuição além dessa. A tela, representada na Figura 30, ilustra o momento de *login*.

Figura 30 – Proposta de tela de *login*



Digite seu login e senha para continuar.

Nome

Senha

OK Cancel

Fonte: Arquivo pessoal.

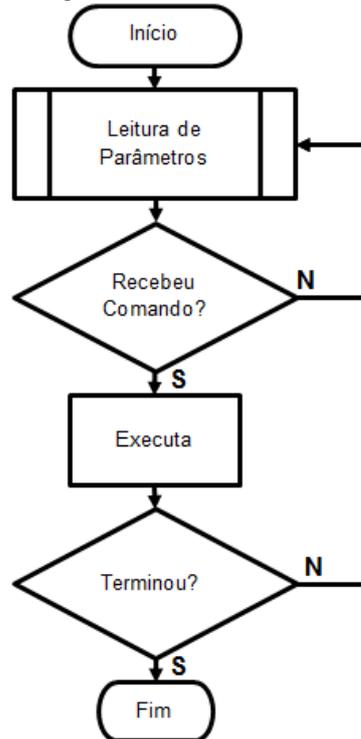
O registro do realizador da calibração é pertinente dada a importância do processo por si só: um equipamento de medição, por melhor que seja, depende de sua calibração para operar de maneira confiável e em concordância com os pesos e medidas padronizados internacionalmente. Com o registro do operador, é possível rastrear equipamentos calibrados e garantir que o responsável capacitado realizou o trabalho corretamente.

Uma vez que o usuário já esteja devidamente conectado, é necessário entrar com o código do produto a ser calibrado e o seu tipo (I ou II). Nesse primeiro momento, era necessário que o usuário registrasse no software o tipo do

torquímetro, pois existem diferenças na operação para cada situação e não havia o registro dos tipos no cadastro do equipamento no banco de dados da WEG.

O fluxograma apresentado na Figura 31 traz o funcionamento do programa que opera no servoconversor.

Figura 31 – Fluxograma do *software* do servoconversor



Fonte: Arquivo pessoal.

Finalizada a idealização, torna-se possível propor maneiras de tornar as ideias realizáveis. O Capítulo 6 apresenta a vital etapa de dimensionamento, definição de componentes e planejamento para a construção do sistema e dos testes para validá-lo, chamada de Projeto Preliminar.

6. PROJETO PRELIMINAR

Após idealizar como seria fisicamente o produto e identificar as soluções para suas funções com o Projeto Conceitual, iniciou-se outra parte imprescindível do desenvolvimento do sistema: o Projeto Preliminar. Se antes se tinham ideias de como o produto seria na sua versão final, agora há definição de componentes, com dimensionamentos e detalhamentos das soluções propostas.

O Apêndice B apresenta a lista de elementos do projeto, compreendendo as partes eletroeletrônica e mecânica do sistema.

O presente capítulo trata dos temas pertinentes ao Projeto Preliminar. A Seção 6.1 delineará a definição do leiaute do projeto, que é a concepção composta por elementos reais e com dimensionamentos definidos. O protótipo, elemento crucial para a validação do projeto, é apresentado na Seção 6.2.

6.1. Estabelecimento do leiaute do sistema

Diversas tarefas precisaram realizadas até ser possível propor um leiaute final, o qual é resultado de aprimoramentos funcionais e dimensionais. O leiaute, além de representar o sistema propriamente dito (e não apenas uma idealização teórica), permitiu a realização de um protótipo, para o desenvolvimento do sistema.

Um importante ponto a ser analisado diz respeito ao lado mercadológico: o sistema desenvolvido deve suprir uma necessidade da empresa, mas não possui caráter comercial. A escolha por componentes de fácil acesso para a empresa (seja os que por ela são fabricados, seja os que são comumente usados em outros projetos) facilita o mantimento do sistema de maneira funcional.

O conjunto servoacionamento e servomotor, presente na primeira versão do sistema, foi atualizado para os componentes SCA06C05P3T4C3W2 e SWA-56-4-6,1-30. Essa mudança acaba por garantir maior torque e estabilidade, como requisitado. A simples opção por esses elementos acarreta na necessidade de atualização das peças de fixação na estrutura mecânica e na possibilidade de definição do quadro elétrico, uma vez que ele abrigará o servoconversor.

Um ponto importante de ser considerado é a compreensão, durante o Projeto Preliminar, de que a proposta de realização de rotinas automáticas de calibração para torquímetros do tipo II teria que ser deixada para trabalhos futuros.

Julgou-se mais interessante para a Seção de Metrologia o foco no desenvolvimento e aprimoramento da versão dependente do comando do usuário, com a possibilidade da automação em momentos posteriores onde o foco pode recair todo sobre ela. O foco permanece na automação, a diminuição da dependência da ação do usuário na operação, deixando a automatização – a erradicação da dependência no usuário – para desenvolvimentos futuros.

Seguindo o padrão adotado na etapa concepcional, os leiautes foram separados em parte mecânica, eletroeletrônica e de programação e controle. A denominação de leiaute inicial do se dá pelo fato de julgar-se necessário considerar os dados provenientes de testes e da análise do protótipo antes da proposição de um leiaute final.

6.1.1. Leiaute inicial da parte Mecânica

A tarefa de dimensionar as ideias propostas no Projeto Conceitual, permitindo-se chegar num leiaute inicial, é bastante auxiliada pelas restrições e especificações de projeto, uma vez que é necessário garantir a sinergia de todos os componentes. É importante notar que as concepções eram baseadas em catálogos e suposições, então o processo de dimensionamento constitui-se como uma evolução dos desenvolvimentos anteriores (não sendo um temporalmente dispendioso retrabalho).

Os elementos mecânicos foram projetados e dimensionados em um *software* CAD, auxiliado pelas informações contidas em catálogos e manuais, com sua fabricação sendo feita pela Resomax Tornearia. É interessante notar que o acabamento das peças deixou suas dimensões um tanto distantes do esperado e, com o atraso do recebimento do servomotor, não foi possível testar sua fixação ao serem recebidas. A Figura 32 apresenta as peças com o acabamento.

Figura 32 – Peças mecânicas finalizadas



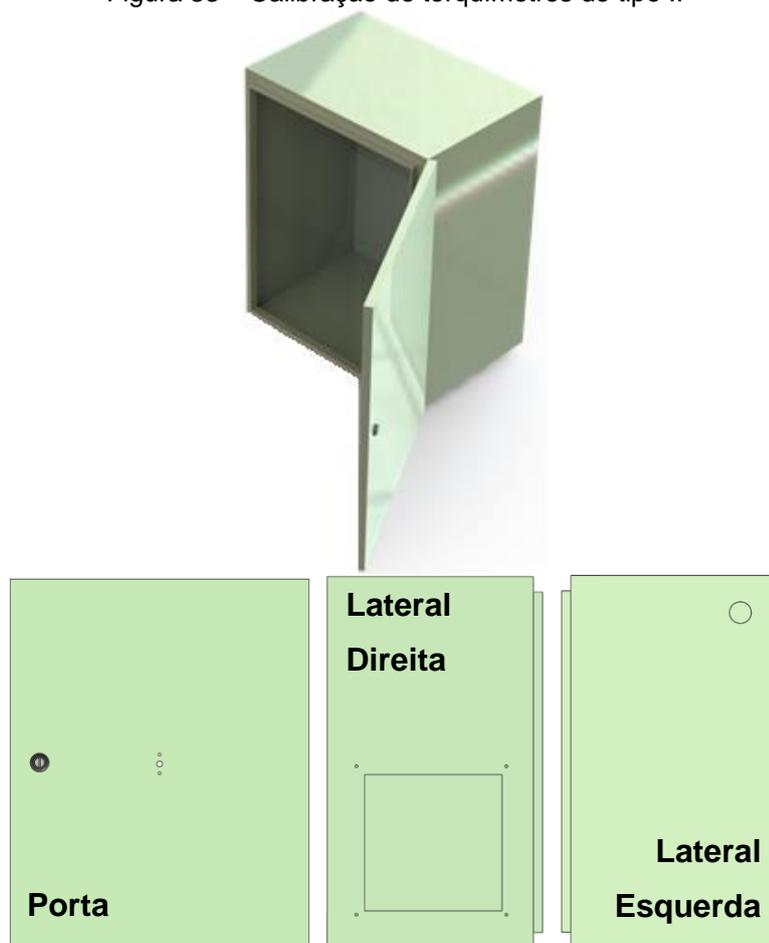
Fonte: Arquivo pessoal.

Apesar de ter sido possível propor novos *designs* para as peças, a ideia de se manter fiel ao que já foi feito e agregar os conhecimentos adquiridos na proposição das peças anteriores garantiu os resultados desejados, mas com menor custo. Por exemplo, ao ser informado do preço de uma das peças anteriores, a qual apresentava um furo com um elevado impacto financeiro só pelo fato de não ser passante, fez-se a alteração no projeto atual.

Outro ponto é o quadro elétrico. Com dimensões de 600 x 480 x 330 mm, foi necessária a realização de alguns furos para permitir a fixação de elementos como a chave geral, do exaustor, do conector da IHM e a passagem dos cabos.

A Figura 33 apresenta o quadro elétrico e ilustra os furos a serem realizados. Para o furo do exaustor, foram realizados furos nos quatro cantos para permitir a entrada e saída da serra tico-tico. Os demais foram realizados com brocas simples e/ou com a serra-copo.

Figura 33 – Calibração de torquímetros do tipo II

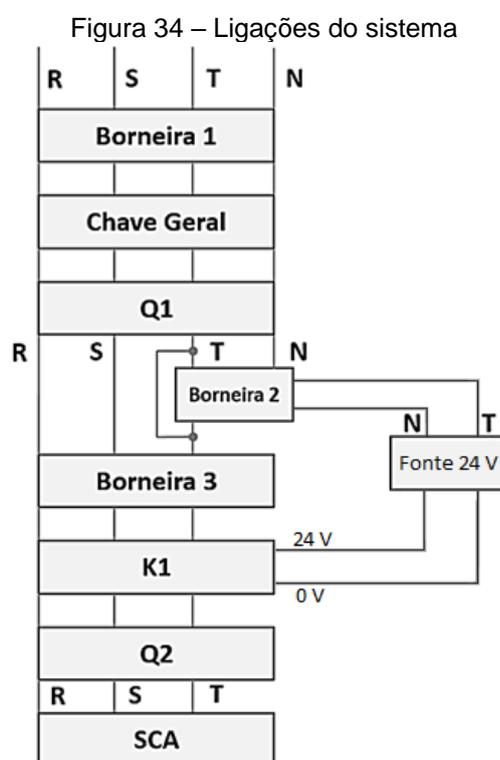


Fonte: Arquivo pessoal.

Enquanto que, de um lado, há o espaço para a fixação do exaustor – responsável por garantir circulação de ar no quadro elétrico e temperatura estável durante a operação do sistema – do outro lado do gabinete foi realizado um furo para passagem dos cabos presentes no sistema: com diâmetro de 35 mm, optou-se pela colocação de borracha em volta de sua abertura. Apesar da presença do exaustor, retirando o ar quente de entro do quadro elétrico, não se julgou necessária a elaboração de uma abertura para entrada de ar, uma vez que há espaço para sua passagem pela abertura destinada aos cabos.

6.1.2. Leiaute inicial da parte Eletroeletrônica

Antes mesmo de propor a organização do quadro elétrico e seus componentes, é interessante apresentar as conexões entre os elementos do sistema, as quais permitem o funcionamento desejado do mesmo. A Figura 34 apresenta as ligações do sistema, que recebe uma alimentação trifásica, de 380 V e corrente alternada, representada pelas letras **R**, **S**, **T** e **N**.



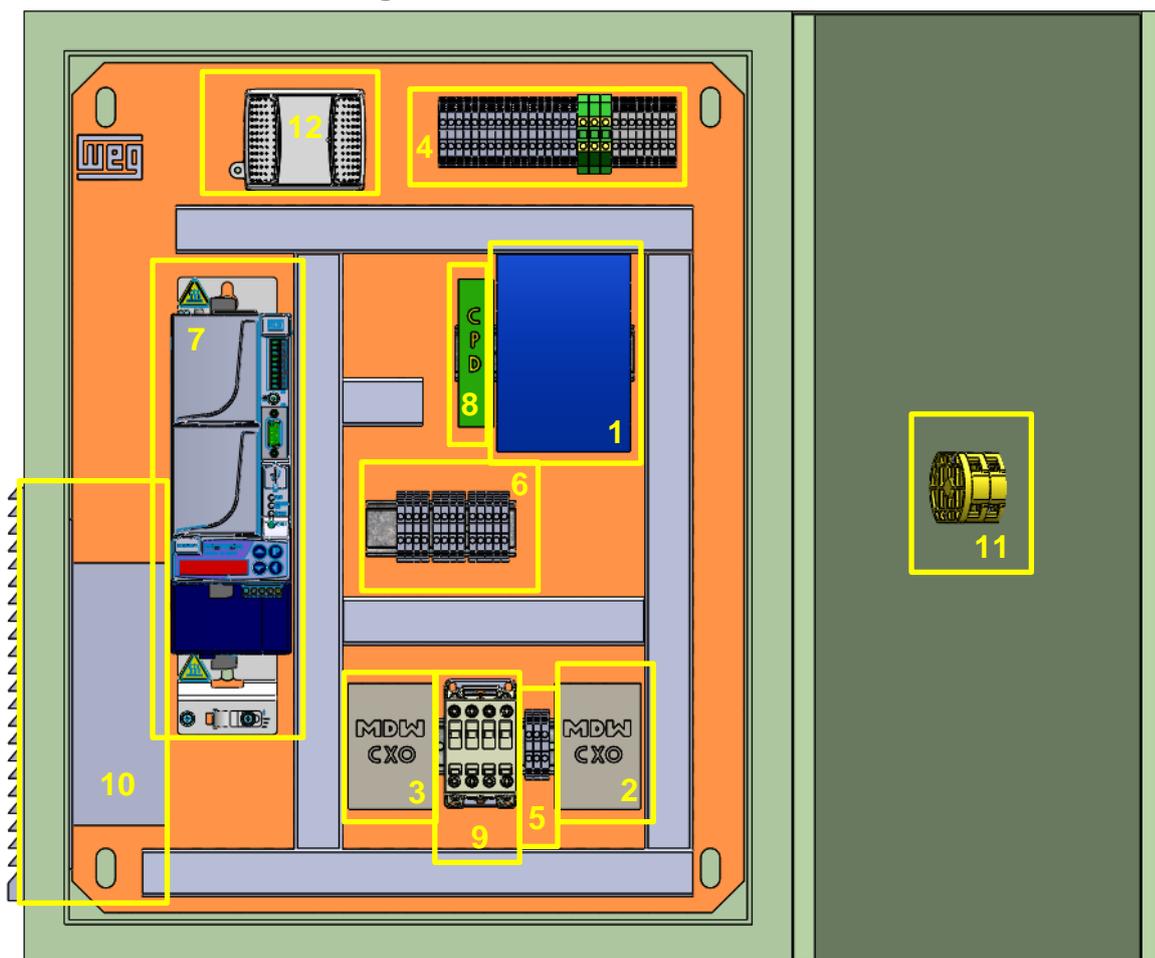
Fonte: Arquivo pessoal.

Optou-se por não listar o exaustor na Figura 34 para poder focar apenas nos elementos relacionados ao funcionamento do servoconversor. É possível perceber que o contator depende da fonte de 24 V para alimentar o servoconversor. Essa

decisão garante um intertravamento do sistema, relacionando o funcionamento da parte de controle com a de potência.

É possível considerar que o leiaute inicial da parte eletroeletrônica é uma evolução da iteração anterior, a qual era usada antes do início do presente projeto. Baseado nas ideias que deram certo, aumentando a segurança e atendendo aos pedidos dos operadores, foi possível propor o sistema ilustrado pela Figura 35.

Figura 35 – Quadro elétrico do sistema



Fonte: Arquivo pessoal.

Os elementos componentes do quadro elétrico, enumerados na Figura 35:

1. Fonte 24 V

A Fonte de 24 V é importante por fornecer alimentação para o circuito de segurança, além de energizar elementos como sensores de fim de curso.

2. Disjuntor MDW C20

Elemento de segurança, que visa proteger todo o circuito, cortando a alimentação em caso de sobrecorrente.

3. Disjuntor MDW C10

Assim como o disjuntor MDW C20, também é um elemento de segurança, mas visa proteger especificamente o servoconversor e o servomotor.

4. Borneira 1

Elementos de conexão, os bornes estão posicionados em um trilho DIN 35, permitindo a conexão do circuito com os cabos que vêm de fora.

5. Borneira 2

Esses bornes, além de permitirem a alimentação dos elementos de 220 V monofásicos, possibilitam também a alimentação dos elementos energizados por 24 V.

6. Borneira 3

Esses bornes fazem a conexão da alimentação trifásica que sai do disjuntor MDW C20 e vai para o contator, uma vez que uma das três fases disponíveis é utilizada para alimentação de elementos como a fonte de 24 V e o exaustor.

7. SCA06C05P3T4C3W2

O servoconversor responsável pelo comando do servomotor. Alimentado por uma tensão trifásica de 380 V, o elemento recebe também os sinais dos sensores de fim de curso.

8. CP – D

O CP – D é o Controle de Parada de Emergência. É um dispositivo fabricado pela WEG e serve para travar o sistema em caso de emergência, além de controlar também o reinício do funcionamento do sistema.

9. Contator CWM12

O contator CWM12 é outro elemento de segurança, que corta a alimentação do servoconversor no caso de problema.

10. Exaustor

Responsável por promover a recirculação do ar dentro do gabinete, o exaustor ajuda a garantir que não haja problemas de superaquecimento com o sistema;

11. Chave seccionadora

A chave seccionadora, quando acionada, permite a passagem da alimentação para o sistema.

12. DAQ USB-6501 + Placa opto-acoplada

O dispositivo da National Instruments permite que o computador possa comandar o padrão de torque a enviar seus dados para o computador, acionando

um opto-acoplador que, ao conduzir, permite que uma das entradas do padrão seja alimentada com a tensão necessária, realizando a impressão da leitura na porta serial.

É possível perceber que houve consideráveis mudanças entre o quadro apresentado na Figura 35 e a concepção proposta na Figura 26, apresentada no Capítulo 5. Com a definição dos componentes do sistema foi necessária a realização de um remanejamento de espaço, além de políticas de redução de desperdício de material, resultando o leiaute proposto.

O módulo de expansão ECO5, do servoconversor SCA06, permite a comunicação via Ethernet entre o computador e o servoconversor, possibilitando o comando do último pelo primeiro. Sem o módulo, não há como realizar essa vital ligação e o sistema não teria como depender do teclado para realizar sua movimentação. A Figura 36 apresenta os dois elementos conectados.

Figura 36 – SCA06 e ECO5



Fonte: Arquivo pessoal.

Para o funcionamento desejado do sistema, é vital que haja comunicação entre alguns elementos:

- servoconversor – Servomotor: cabos específicos;
- computador – Servoconversor: cabo Ethernet;
- computador – *DAQ USB6501*: cabo USB;
- servoconversor – IHM: cabo multivias.

6.1.3. Leiaute inicial da parte de Programação e Controle

O *software* garante o funcionamento desejado do sistema e foi desenvolvido de acordo com a seção 5.2.3. na linguagem *LabVIEW*. Sua execução é realizada por um computador, que precisa de acesso à Internet (e à rede da WEG) e de uma porta Ethernet extra para a conexão ao servoconversor.

Como a Seção de Metrologia atende a WEG em nível mundial e percebeu-se a necessidade de uma padronização dos processos, seja para auxiliar os usuários, seja para garantir o elevado padrão esperado dos produtos WEG, foi desenvolvido um *software* de calibração que atende diversos equipamentos de áreas distintas: o SCA, ou Sistema de Calibração Automática. O projeto do referido *software* foi realizado pelo corpo técnico da referida seção antes do início do presente projeto. Apresentando alta interação com os bancos de dados da WEG e elevada independência de operadores, o SCA reduz muito da parte burocrática de preenchimento de tabelas e campos de informações, além de agilizar as calibrações (semi-automatizando algumas e automatizando outras). A calibração envolve, além de uma média de 15 dados de torque provenientes do ensaio, códigos de equipamento, ordens de calibração, entre outros dados. Quanto menos responsabilidade de preencher corretamente campos e relatórios, mais focado na calibração o metrologista pode ficar, o que agiliza o processo e aumenta sua confiabilidade.

O SCA oferece a possibilidade de efetuar calibrações manuais, semi-automáticas, automáticas e calibrações de estufa, as quais são diferentes das demais. A integração com o SCA elimina a necessidade de se preocupar com o Login e até mesmo com a aparência do programa: ele já oferece as telas padronizadas, com uma identidade visual já conhecida (e aprovada) pelos operadores. Mas, apesar de facilitar uma parte do trabalho, é notável perceber que algumas partes precisaram ser reimaginadas para apresentarem compatibilidade com o SCA.

A programação em *LabVIEW*, um ambiente gráfico de desenvolvimento de sistemas, é altamente propícia à aplicação de modularidade, sendo possível aproveitar boa parte dos desenvolvimentos do Projeto Conceitual. Um ponto negativo da programação de blocos do *software* é o tamanho que os programas mais complexos apresentam, sendo a inserção dos trechos desenvolvidos em

LabVIEW no presente documento uma tarefa difícil. A ideia de que o *LabVIEW* é uma linguagem exclusiva para prototipagem está completamente equivocada: é possível desenvolver programas confiáveis e profissionais com o *LabVIEW*, como diversos produtos desenvolvidos pela Metrologia atestam.

O funcionamento do SCA está bastante relacionado às suas telas: com funções específicas e a versatilidade de ser funcional para diferentes tipos de instrumentos. A primeira tela (chamada no sistema de tela 0) – apresentada na Figura 37 – serve para o metrologista inserir seu nome de usuário e senha (os mesmos do e-mail), tarefa importante uma vez que o certificado de calibração apresentará o nome e e-mail do executor da operação.

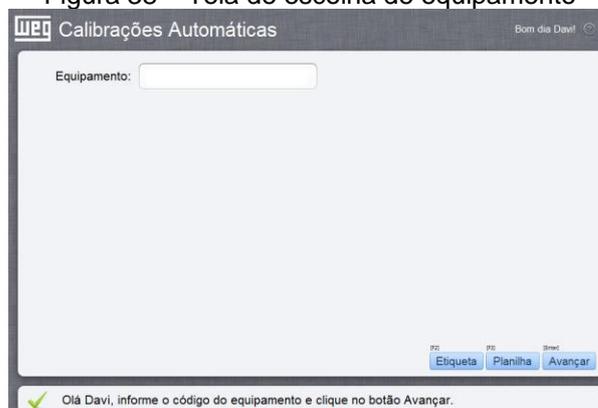
Figura 37 – Tela de *login*



Fonte: Arquivo pessoal.

Ao inserir seus dados e prosseguir, o usuário chega à tela de escolha de equipamento, chamada pelo sistema de tela 1, padrão para todos os tipos de calibração que fazem uso do SCA. A Figura 38 apresenta uma seção de calibração a ser realizada pelo metrologista Davi Orzechowski. A barra de informações, na parte de baixo da figura, auxilia o metrologista com dados pertinentes da operação do sistema.

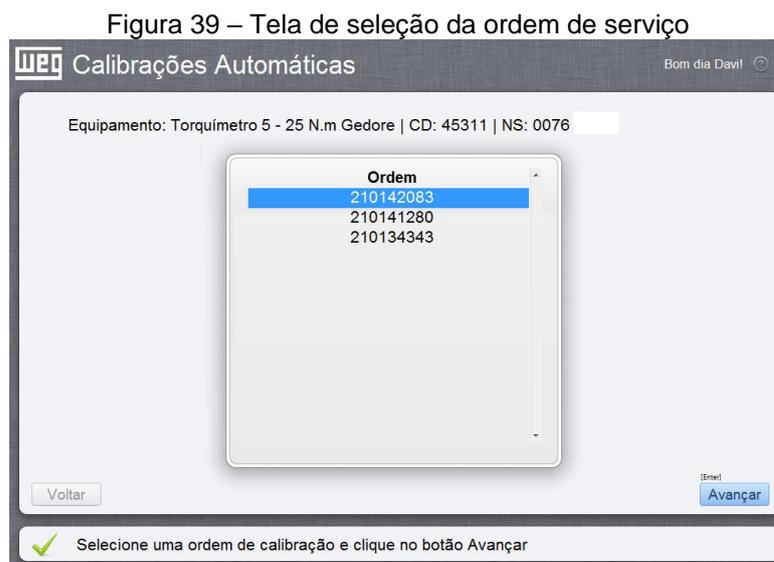
Figura 38 – Tela de escolha de equipamento



Fonte: Arquivo pessoal.

É possível notar a presença de três botões: Etiqueta, Planilha e Avançar. O botão Etiqueta serve para enviar o comando de impressão da etiqueta, a qual serve para controle de equipamentos da Seção de Metrologia; o botão Planilha serve para gerar uma planilha no Excel com os pontos a serem calibrados; o botão Avançar serve para continuar a operação de calibração.

Após avançar no processo de calibração, o metrologista chega à chamada tela 2, onde é efetuada a escolha da ordem de calibração. Na Figura 39 é possível perceber que o equipamento selecionado, o 45311, é um torquímetro de 5 - 25 N.m. Essas informações são provenientes do banco de dados da WEG. É possível perceber que, do ponto de vista da automatização do sistema, os dados referentes ao torquímetro são insuficientes: falta a especificação do tipo de torquímetro, o que, unido ao fato de que há diferenças de velocidade para ambas as situações, aumenta a dependência que o sistema tem no metrologista para entrar com os dados.



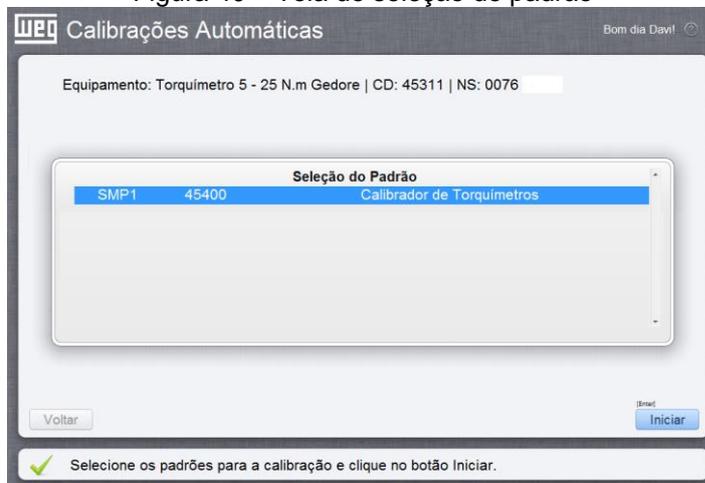
Fonte: Arquivo pessoal.

As ordens apresentadas na Figura 39 foram criadas especialmente para permitir os testes do protótipo. Para equipamentos comuns, essa janela apresenta apenas uma ordem, a de calibração atual a ser realizada.

Ao pressionar avançar, o metrologista é direcionado para a tela de seleção de padrão. É interessante notar que o calibrador de torquímetros apresenta apenas um padrão, o Norbar TTT Series 3, mas o SCA é um programa padrão da Seção e foi realizado para ser o mais versátil possível. Ao metrologista, no caso do calibrador de torquímetros, cabe apenas a tarefa de ou pressionar o botão Iniciar ou a tecla

Enter do teclado, para dar seguimento ao processo de calibração. A Figura 40 apresenta a tela de seleção de padrão, chamada de tela 3.

Figura 40 – Tela de seleção de padrão



Fonte: Arquivo pessoal.

Para realizar todos os procedimentos citados até aqui, uma série de eventos e tarefas foram realizadas envolvendo o banco de dados da WEG. O SCA precisa, ao receber as informações sobre o equipamento a ser calibrado e o padrão utilizado, preparar seu funcionamento. A calibração de torquímetros está configurada como semi-automática, uma vez que depende do operador para movimentar o sistema e realizar o salvamento dos dados.

Caso o sistema esteja apto a realizar a calibração, o metrologista chegará à tela 4, a qual pode ser vista na Figura 41. Estando nessa tela, é possível movimentar o sistema e realizar as calibrações.

Figura 41 – Tela de calibração



Fonte: Arquivo pessoal.

A retirada da tela de alívio de tensões garante ao operador maior liberdade para realizar tal atividade da maneira como achar melhor.

Para permitir não só a inicialização do sistema, mas o seu funcionamento como um todo, foi preciso desenvolver uma '.vi' – um programa do LabVIEW, chamado de instrumento virtual, *virtual instrument* – responsável por comandar o padrão de torque a efetuar a escrita na porta serial, possibilitando a leitura pelo computador. Essa rotina é chamada tanto para testar a comunicação quanto para o uso na calibração.

Uma vez que seja possível comandar o padrão de torque, é importante fazer com que o sistema consiga ler os dados enviados via porta serial, além de conseguir enviar isso para o restante do SCA.

Há um módulo específico para testar a comunicação com o padrão, teste vital para o funcionamento do sistema, antes de iniciar a calibração visto que a calibração só terá valia se os valores dos ensaios puderem ser lidos corretamente pelo computador. O teste de comunicação é uma garantia de que o funcionamento será o desejado – se falhar, um aviso de erro aparecerá para o metrologista responsável, impedindo o prosseguimento do processo de calibração.

Quando o metrologista estiver na tela 4 e as comunicações de teste com o padrão tiverem sido bem sucedidas, será possível controlar o servomotor para realizar as movimentações desejadas. Para isso, foi utilizado o evento de tecla pressionada do *LabVIEW*, atribuindo para as teclas cima e baixo do teclado as funções de, respectivamente, movimentar o atuador de força de maneira ascendente e descendente. Para permitir esse controle, é necessário que o servoconversor receba o comando pela entrada Ethernet.

Durante a calibração, o sistema deve acionar o padrão de torque a cada vez que a tecla Enter, do teclado, for pressionada, lendo o valor de torque enviado. No caso da Barra de Espaço ser pressionada, o padrão tem seu visor limpo, mas sem que o SCA registre o dado enviado para a porta serial pelo padrão de torque.

Para permitir a mudança de velocidade, foi definido que as teclas para esquerda e direita seriam responsáveis por, respectivamente, aumentar e diminuir a velocidade de operação do servomotor.

Como o *DAQ USB-6501* é um dispositivo fabricado pela National Instruments, criadora do *LabVIEW*, foi possível utilizar o equipamento sem problemas de compatibilidade.

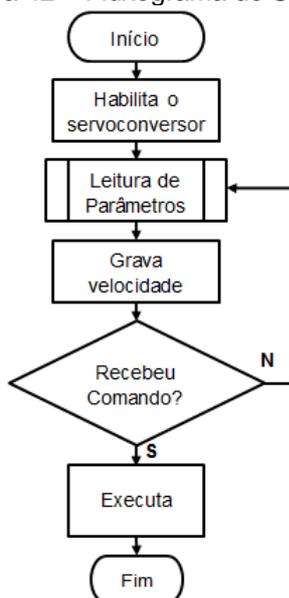
Ao tomar como base um desenvolvimento anterior da Metrologia, que permitia a comunicação via Ethernet entre o *LabVIEW* e o PLC300 – um controlador lógico programável da WEG – foi possível propor os desenvolvimentos necessários para permitir a comunicação do computador com o SCA06, o qual oferece um CLP interno.

De acordo com o manual do usuário, era necessário realizar algumas configurações manualmente no servoconversor, além da realização do auto-tuning (sendo importante a sua realização fora da estrutura do calibrador de torquímetros, uma vez que o processo envolve grande quantidade de rotações e acionamentos do servomotor). Foi preciso efetuar a rotina de auto-tuning oferecida pelo SCA06 para garantir que o servomotor consiga operar de acordo com o comando desejado.

Um dos parâmetros cruciais para o funcionamento do sistema e do servoconversor SCA06 é o P00099, o qual indica se o servomotor conectado ao SCA06 está habilitado ou não. Outro importante parâmetro a ser considerado é o P01020, o parâmetro de comando da PLC interna do SCA06. Por uma decisão construtiva, ambos precisam estar desabilitados para permitir a gravação do *software Ladder* de comando.

A Figura 42 apresenta um fluxograma do *software* do servoconvesor. Para não prejudicar demais o planejamento, optou-se por seguir as demais atividades, retornando para essa tão logo os materiais estiverem disponíveis.

Figura 42 – Fluxograma do SCA06



Fonte: Arquivo pessoal.

Uma parte importante a ser considerada é a questão financeira: quanto custou para atualizar o sistema antigo.

6.1.4. Custos

Os custos estão listados na Tabela 4. Os Elementos Mecânicos são comprados de empresas especializadas. Os elementos eletroeletrônicos compreendem a maior parte dos itens, indo de botões ao servoconversor. É interessante notar que a maior parte desses componentes é fabricada pela WEG. Os parafusos e demais elementos mecânicos disponíveis no almoxarifado da empresa estão numa categoria conjunta para simplificação do quadro.

Tabela 4 – Custos

Elementos	Custos
Elementos Mecânicos	R\$ 1 078,18
Elementos Eletroeletrônicos	R\$ 1 662,58
Conjunto Servomotor + Servoconversor	R\$ 2 038,72
Elementos Diversos	R\$ 200,00
Total	R\$ 4 979,48

Apesar de parecer ser possível iniciar a elaboração do sistema logo após a proposição dos leiautes, achou-se pertinente a elaboração de um protótipo do sistema, para validar as ideias propostas. De acordo com Back et al. (2009), um protótipo representa o objeto a ser projetado com todas as características funcionais e dimensionais do produto. A próxima seção apresenta os planejamentos de fabricação e de testes a serem realizados para a confecção do protótipo.

6.2. Protótipo

A elaboração de um protótipo tem contribuições quase que imensuráveis para projetos de sistemas complexos e que envolvem áreas distintas (como costumam ser os sistemas mecatrônicos), pois revela problemas que podem ser corrigidos antes da massificação da produção e da comercialização do produto, como aponta Back et al. (2009). O protótipo não serve apenas para encontrar erros, uma vez que ele é uma espécie de validação de todo o projeto com a materialização do leiaute proposto.

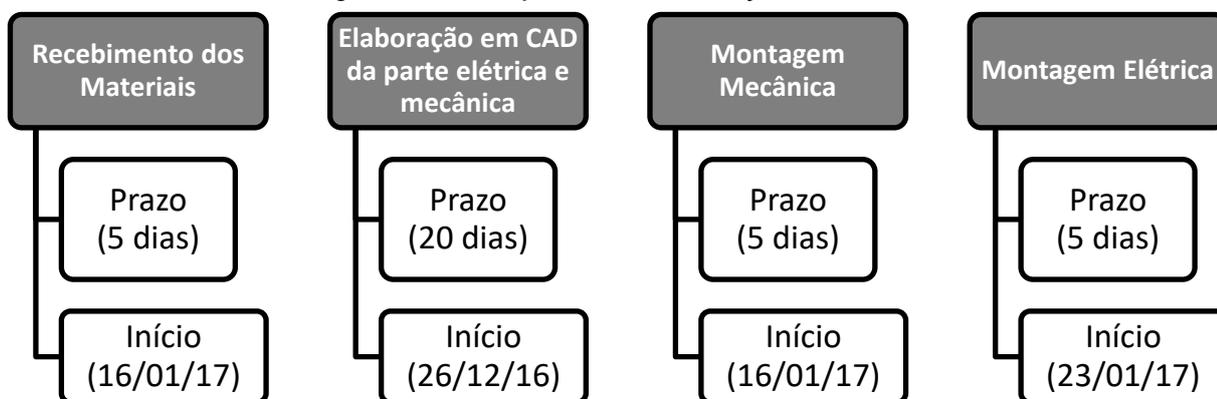
É importante considerar ainda que o sistema em sua versão final é a versão aprimorada do protótipo, considerando as informações elencadas durante a fabricação, montagem e testes. A diferenciação faz-se necessária, portanto, por se tratarem de estágios bastante distintos do mesmo sistema.

6.2.1. Planejamento de fabricação

A ideia de realizar um planejamento de fabricação pode soar como uma tentativa de complicar uma situação direta – o projeto está realizado, sendo apenas necessário tira-lo do papel e recria-lo no mundo real – mas iniciar a construção do protótipo pelo que estiver mais perto ou for mais cômodo pode ser uma escolha perigosa para o projeto, com aumento nas chances de atrasar tarefas importantes, podendo até sabotar o projeto como um todo. Era importante traçar um plano que envolvesse até as entregas dos materiais faltantes, de maneira a aproveitar todo o tempo disponível para o desenvolvimento do sistema.

A fabricação do sistema envolvia não só a WEG: era preciso que os componentes comprados fossem entregues e apresentassem o desempenho esperado. Ao considerarem-se os prazos dos fornecedores e a possibilidade de desenvolvimentos em paralelo, foi possível propor o plano apresentado na Figura 43. A multidisciplinaridade do projeto fez com que fosse possível (na grande maioria das situações) trabalhar com tarefas em paralelo, exceto para situações de elementos interdependentes.

Figura 43 – Planejamento de fabricação do sistema



Fonte: Arquivo pessoal.

6.2.2. Definição dos testes a para validação do protótipo

Foi possível propor alguns testes que deviam ser executados de maneira a validar o produto desenvolvido. A redação dos referidos testes está apresentada como quando foi proposta, contendo os termos no futuro, o que oferece ao leitor o senso de expectativa presente nessa fase. Considerando-se a sequência temporal e os prazos estimados, foi possível determinar a ordem de realização dos referidos testes:

- Teste de acionamento do motor;

Teste que visa verificar se o servomotor está sendo corretamente acionado. Será possível verificar o funcionamento do sistema utilizando o servoconversor para monitorar a velocidade empreendida pelo servomotor. O operador comandará o calibrador para aplicar uma força e alterará a velocidade de atuação, ao que o sistema deverá acionar o servomotor e alterar sua velocidade.

Para este teste, foi criado um *software* simplificado focado no acionamento do motor. O desenvolvimento desse *software* não foi visto como gasto de tempo se considerar que o sistema estava incompleto, uma vez que o objetivo é integrar, posteriormente, as partes funcionais no sistema final.

- Teste de parada de emergência;

Teste que visa verificar a eficiência do botão de emergência durante o funcionamento do sistema. O operador deverá observar os efeitos da parada de emergência (e o retorno à operação) em diferentes situações (funcionamento normal, sistema ocioso, ao ativar o fim de curso, entre outras).

Do jeito que o sistema foi projetado, o acionamento do botão de emergência desliga o servoconversor – elemento responsável por controlar o acionamento do servomotor – religando-o apenas ao pressionar o botão de *reset*. Apesar de existirem outras maneiras, a escolhida garante travamento dos elementos como espera-se em caso de emergência.

- Teste dos fins de curso;

Teste que visa verificar o funcionamento dos fins de curso do sistema. O operador comandará o sistema para coloca-lo em situações de fim de curso e verificar se o comportamento apresentado é o desejado.

- Teste de leitura de dados do padrão de torque;

Teste que visa verificar se o *software* está conseguindo ler corretamente os dados de torque enviados pelo padrão. O padrão de torque enviará os dados de uma leitura e o *software* deverá ser capaz de lê-los. O teste será considerado bem sucedido se, além de adquirir os dados, o *software* seja capaz de identificar dentre as informações enviadas pelo padrão, distinguindo o que é magnitude e o que é a unidade de medição.

- Teste de envio de comandos para o sistema;

Teste que visa verificar se o sistema consegue receber comandos do usuário e desempenhar as ações relativas às diretivas recebidas. O operador comandará o sistema para fazer algumas operações básicas mas imprescindíveis para seu funcionamento geral.

- Teste do *software*.

Teste que visa verificar o funcionamento do *software* com um todo. As várias funções por ele desempenhadas serão testadas e analisadas em conjunto, em contraste com a abordagem do teste anterior, que testava as funções independentemente.

- Calibração de torquímetro de indicação;

Teste que visa verificar o funcionamento do sistema ao desempenhar uma calibração de um torquímetro de indicação.

- Calibração de torquímetro de estalo.

Teste que visa verificar o funcionamento do sistema ao desempenhar uma calibração de um torquímetro de estalo.

Com o leiaute inicial do sistema proposto e os planejamentos de testes e de fabricação do protótipo traçados, foi possível iniciar a decisiva etapa final, o Projeto Detalhado. O Capítulo 7 apresenta os desenvolvimentos empreendidos nesse término formal do projeto.

7. PROJETO DETALHADO

Com todo o conhecimento decorrente das etapas anteriores, foi possível realizar a etapa do Projeto Detalhado. O planejamento do protótipo permitiu sua construção e montagem. A realização dos testes, auxiliada pelo planejamento, permitiu reavaliar algumas propostas e chegar numa versão do sistema mais interessante para a Seção de Metrologia, a versão final.

Com a organização do presente capítulo, é possível acompanhar as ações realizadas até a finalização do desenvolvimento do sistema. A Seção 7.1 descreve alguns pontos relativos à montagem do protótipo. Os resultados dos testes são expostos na Seção 7.2. Com os dados elencados, a Seção 7.3 apresenta os aprimoramentos propostos. A Seção 7.4 detalha o leiaute final do sistema.

7.1. Montagem do Protótipo

Enquanto que, quando proposto, o planejamento de fabricação parecia realizável, o que se viu na prática foi a impossibilidade de segui-lo – pelo menos dentro dos prazos estipulados. Com o atraso no recebimento de alguns elementos do sistema, foi necessário realizar um replanejamento para ser possível continuar os desenvolvimentos. Uma vez que os possíveis atrasos já haviam sido considerados, os desenvolvimentos nas áreas que eram possíveis foram iniciados.

Um ponto imprescindível de ser considerado é o mês em que os equipamentos faltantes chegaram, e a importância do sistema desenvolvido dentro do referido mês (Fevereiro, chamado de “mês de calibração dos Torquímetros”). Montar o protótipo e testá-lo enquanto que uma quantidade média de vinte torquímetros precisava ser calibrada por dia envolveu muita paciência e oportunismo, para decidir quais momentos eram os corretos para a tomada de cada decisão, em prol do melhor resultado tanto para a Seção quanto para o projeto.

Enquanto que a situação de montagem do protótipo no mês de fevereiro podia ser vista como ideal, por ter o maior número de instrumentos para testar as capacidades do sistema, o fato da bancada com o sistema antigo estar constantemente ocupada atrasou alguns dos desenvolvimentos. Aliada à constante ocupação da iteração anterior havia o lado da seriedade e importância da operação de calibração, que impedia a realização de pequenos testes que pudessem apresentar riscos para o sistema: as alterações não podiam falhar. Apesar dos

problemas, foi possível traçar e seguir um planejamento sem que fossem necessários desenvolvimentos fora do expediente da seção.

Uma das consequências dos atrasos, dos períodos onde não se havia acesso ao sistema e da impossibilidade da bancada ficar inoperacional por muito tempo foi o surgimento de uma grande quantidade de novas ideias para o projeto. Assim, é possível afirmar que, partindo-se da base do que seria a “versão definitiva”, diversos melhoramentos foram realizados, apoiados pelos resultados advindos dos testes que puderam ser realizados nessa etapa.

Apesar de, por exemplo, ter havido um atraso de duas semanas entre o recebimento do gabinete elétrico e o servoconversor, esta seção traz os resultados desconsiderando essas situações “anacrônicas” de entregas.

Como percebido anteriormente, o acabamento realizado nas peças usinadas, apesar de garantir durabilidade (e ser agradável de ver), fez com que as dimensões ficassem incompatíveis com o servomotor. Com o uso de lixas e desbaste de material de maneira manual, foi possível adequar as dimensões dos elementos para garantir a fixação. A Figura 44 apresenta o servomotor preso à estrutura metálica, estando ele capaz de transmitir seu giro para o eixo. Os furos responsáveis por garantir o posicionamento desejado não apresentaram problema, permitindo a montagem desejada.

Figura 44 – Detalhe da fixação do servomotor na estrutura



Fonte: Arquivo pessoal.

A Figura 45 apresenta a IHM de segurança do sistema já em operação, com todos seus elementos. É possível destacar que, na situação da imagem, o sistema está energizado com o detalhe do SCA06 não estar recebendo a alimentação trifásica, sendo necessário pressionar o botão de *reset*. No caso, o acendimento do LED de *reset* indica a situação parada de emergência do sistema.

Figura 45 – IHM em operação



Fonte: Arquivo pessoal.

A Figura 46 apresenta o quadro elétrico do sistema, tanto seu lado externo quanto a parte interna. Uma vez pronto, o quadro elétrico foi posicionado embaixo da mesa que suporta a estrutura mecânica, tal qual na situação inicial. A ausência do módulo de expansão ECO5 será discutida nas próximas seções.

Figura 46 – Quadro Elétrico



Fonte: Arquivo pessoal.

7.2. Testes

Num primeiro momento, mesmo com todos os elementos relacionados entregues, não foi possível realizar o teste de acionamento do motor. Dado o fato do módulo de expansão ECO5 não ter sido oficialmente lançado para venda, ainda não havia suporte e compatibilidade total dos programas de programação e do módulo em si. Esse imprevisto, ainda que percebido tardiamente, motivou a introdução de um outro elemento no sistema, capaz de receber comandos do computador via Ethernet e de comandar o servoconversor. Assim, optou-se pela inclusão emergencial do PLC300, um controlador lógico programável fabricado pela WEG e de presença sólida no mercado, no sistema em substituição ao ECO5.

Com a presença do PLC300 e a adaptação do programa de *LabVIEW*, foi possível acionar o motor e controlar sua velocidade tal qual especificado, além de oferecer mais entradas e saídas digitais que o SCA06, o que diminui algumas limitações do sistema e abriu espaço para importantes refinamentos.

O botão de emergência, presente na IHM, mostrou-se funcional. É pertinente notar que a inclusão do PLC300 não teve qualquer impacto sobre esse aspecto, uma vez que o Circuito de Parada de Emergência da WEG está encarregado de intertravar o sistema em situações necessárias.

Conectados a entradas digitais do servoconversor, as chaves de fim de curso mostraram-se funcionais, bloqueando o giro do motor em um sentido e permitindo apenas a movimentação no sentido oposto quando acionadas. A parada mostrou-se brusca o suficiente para evitar danos ao sistema.

Ao longo do projeto, foram testadas duas situações para comunicação com o padrão de torque e leitura de seus dados: o *DAQ USB-6501* e, posteriormente, um relé de estado sólido. Em ambos os casos, foi possível para o computador adquirir corretamente o dado enviado via USB.

O teste de envio de comandos para o sistema teve sua complexidade aumentada, uma vez que a retirada do *DAQ USB-6501* e a inclusão do PLC300 modificou a maneira como os comandos são recebidos e enviados no sistema. Apesar dos desenvolvimentos necessários, foi possível comandar o sistema como desejado em ambos os casos.

O teste de *software* revelou alguns problemas no banco de dados da WEG na parte de torquímetros. Além de ter sido constatado que não havia distinção, nos registros dos torquímetros, entre os dois tipos (I e II), foram encontrados problemas relacionados ao equipamento de medição de torque e aos cálculos de incerteza dos torquímetros (problemas esses que não eram verificáveis na calibração manual). Foi possível propor saídas, que serão detalhadas nas seções a seguir, para permitir a operação correta do sistema.

Não foram encontrados problemas na calibração de torquímetros de indicação. Na calibração de torquímetros de ajuste, foi requisitada uma modificação da ordem dos pontos a serem calibrados (em vez de iniciar no ponto de menor torque e crescer até o ponto de maior torque, foi requisitada a mudança para iniciar nos pontos de maior torque).

7.3. Aprimoramento da Solução

Apesar de todo o trabalho de projeto, montagem e testes da primeira versão do protótipo, já havia a noção de que ela não seria a definitiva, com a passagem do protótipo para produto final apenas sendo uma troca de nomes. Julgou-se necessária a realização de um refinamento das soluções, buscando alinhar o sistema com as especificações de projeto e necessidades, ainda que elas tenham aparecido tardiamente.

É importante notar a iteratividade do processo de fabricação do protótipo: cada etapa era planejada, realizada e testada. Situações como o cabo de energia do computador estar fora da alimentação fomentaram a ideia de tornar a IHM antiga compatível com o novo sistema e possível de ser utilizada como alternativa emergencial para o caso de problema no computador com uma quantidade de instrumentos para calibrar.

Com os testes e arguições direcionadas ao corpo técnico de operadores e mantenedores do sistema sobre os resultados alcançados, foi possível propor modificações que visavam não só atender às especificações de projeto, mas atender também sugestões dos futuros operadores:

7.3.1. Aprimoramentos relacionados à fabricação

Durante a fabricação do protótipo, foi possível perceber algumas situações que, sendo adversas ou não, ofereciam espaço para melhoramentos. O posicionamento dos componentes foi repensado, numa busca por um resultado mais interessante. A necessidade de inserir um novo elemento no sistema, o PLC300, está inclusa nessa situação.

Para realizar a identificação dos cabos e facilitar a manutenção do sistema após a conclusão do projeto, uma *plotter* foi utilizada para realizar a marcação de etiquetas de identificação. Durante o processo de marcação, ocorreu uma confusão com os cabos de alimentação do computador e da *plotter* que proporcionou a impressão de haver um problema com o computador. Essa ocorrência suscitou a ideia de reaproveitar a IHM antiga, de maneira que ela pudesse ser usada em situações emergenciais, mas não estivesse presente se não fosse necessário. A instalação de um conector no quadro elétrico proporciona a condição desejada.

Para atualizar a IHM antiga e poder usa-la como *backup*, notou-se a necessidade de efetuar algumas furações na caixa e de efetuar a troca dos cabos de conexão. Além disso, acreditou-se ser interessante a inclusão de um botão para a limpeza da tela na própria IHM. Assim, fez-se necessário efetuar um remanejamento das posições de seus componentes. A inclusão do PLC300 e seu considerável número de entradas digitais permitiu que a IHM de *backup* tivesse meios para funcionar no novo sistema.

7.3.2. Aprimoramentos relacionados à montagem

Uma situação enfrentada foi a ausência de neutro na tomada trifásica reservada para o calibrador de torquímetros. Apesar de indesejada, essa situação foi contornada durante os testes com o uso de outra tomada trifásica disponível no laboratório. É interessante notar que essa situação provou a eficiência do intertravamento do sistema: apesar da alimentação trifásica necessária para o acionamento do SCA06 estar disponível, a fonte de 24 V não foi alimentada e o sistema não pode desempenhar o funcionamento desejado.

Durante os testes com o *DAQ USB-6501*, percebeu-se que sua presença era necessária em um sistema diferente do encontrado na versão preliminar. Durante

alguns testes de acionamento, um botão problemático fez com que o padrão de torque recebesse comandos indesejados para limpeza de tela. Nessa situação, uma análise rápida colocou sobre o DAQ (e a placa opto-acoplada) a culpa pelo problema, o que motivou sua substituição por um relé de estado sólido controlado pelo PLC300 com uma saída digital de 24 V.

7.3.3. Aprimoramentos relacionados aos testes

Com os testes mais elaborados, os quais envolviam a calibração completa de um torquímetro, percebeu-se que o banco de dados da empresa não estava totalmente acessível no caso dos torquímetros. Quando enviados, os dados do ensaio chegavam ao sistema, mas não eram colocados nas fórmulas que verificam sua adequação com as tolerâncias e incertezas, gerando um erro categorizado como de envio. Apesar de diversas revisões, tentativas e comparações com o envio dos outros tipos de equipamentos, não foi possível obter a performance desejada. Assim, abriu-se um chamado para a busca e resolução do problema do banco de dados. Uma solução encontrada foi manter o envio dos dados de ensaio, mas a não-realização dos cálculos da calibração: assim, o metrologista responsável precisa confirmar os dados do ensaio no banco de dados, o que permite a realização dos cálculos e a aprovação ou reprovação do instrumento calibrado.

Também relacionado ao banco de dados da empresa, há o fato de todos os torquímetros não apresentarem em seu cadastro quaisquer menções aos seus tipos. Como há diferenças consideráveis nas operações para cada um, a necessidade de informar o tipo de instrumento para cada calibração mostra-se como uma complicação do funcionamento do sistema. Sabendo-se que a operação de mudança de nome de todos os instrumentos de uma mesma função não é uma operação difícil ou complicada, foi proposto ao corpo técnico renomear todos os torquímetros de maneira a trazer a informação do tipo no nome. A solução proposta foi a mudança do nome de todos os equipamentos de maneira a garantir a apresentação do tipo na denominação.

A inclusão emergencial do controlador lógico programável da WEG – PLC300 – no projeto, para permitir a comunicação entre o computador e o servoconversor, acabou por adicionar considerável liberdade ao projeto. Foi possível viabilizar a ideia de disponibilizar uma IHM de *backup* funcional e de outras situações que não eram possíveis anteriormente.

Uma situação apontada pelos usuários é a necessidade de apresentar a velocidade atual durante a operação, fato que aumentaria a segurança ao diminuir a possibilidade de ocorrência de erros. Enquanto que, com a IHM *backup*, é possível ter uma noção da velocidade atual sem realizar movimentações (pois ela está atrelada a um potenciômetro), o sistema atual só permite obter uma noção quando há movimentação.

Como o SCA06 pode apresentar queda de desempenho com sobretensões, decidiu-se que o projeto atual não correria esse risco, fato esse que motivou a presença do exaustor no projeto, sempre ligado para garantir a ventilação e diminuir as chances de o sistema atingir temperaturas muito altas durante a operação. Um lado negativo dessa situação foi em questão aos ruídos sonoros produzidos. Para contornar essa situação, decidiu-se introduzir um relé de estado sólido ligado a um dos parâmetros de temperatura do SCA06, assim o exaustor será acionado quando o ar no interior do servoconversor estiver em certa temperatura – 42 °C – e desligar quando houver redução dela para 35 °C.

Outro ponto relacionado ao exaustor é a necessidade da presença de uma entrada de ar, uma vez que os cabos disponíveis apresentam grandes diâmetros – o que acabou por limitar o espaço vazio e a entrada livre de ar. Uma entrada de ar, com veneziana e filtro, garante a integridade do sistema, prolonga a durabilidade do exaustor e reduz a chance de ocorrência de sobretensão.

Durante o teste de calibração do torquímetro de estalo, foi requisitada a mudança de ordem dos pontos de calibração: como é necessário reduzir as tensões da mola, acionando o torquímetro de estalo em seu limite de atuação por cinco vezes, a ideia já seria iniciar a calibração por esses pontos mais próximos do torque máximo, evitando mais esforços braçais do que o esperado. Essa modificação, assim como a ordem como o torquímetro de indicação é calibrado, está de acordo com as normas de calibração de torquímetros, podendo então ser implementada.

7.4. Leiaute final do sistema

Com a implementação dos aprimoramentos elencados no sistema, foi possível propor um leiaute final. Tal qual como nas outras etapas, optou-se por dividir o sistema nas partes mecânica, eletroeletrônica e *software*.

O leiaute final do sistema pode ser visualizado na Figura 47, a qual apresenta o referido sistema em situação de calibração. Há liberdade, ainda, para os metrologistas responsáveis reposicionarem os elementos componentes do sistema da maneira como acharem pertinente, sendo a organização apresentada apenas uma sugestão. Dentro de uma gaveta, mas conectada ao sistema, está a IHM de *backup*.

Figura 47 – Banca de calibração de torquímetros em operação

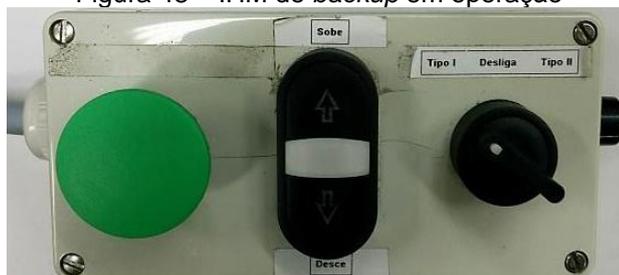


Fonte: Arquivo pessoal.

7.4.1. Leiaute final da parte Mecânica

A IHM de *backup*, com o reposicionamento de seus elementos, a inclusão de um LED de indicação de energização do sistema e do botão para limpeza da tela, pode ser vista na Figura 48.

Figura 48 – IHM de *backup* em operação



Fonte: Arquivo pessoal.

Para possibilitar a fixação do novo elemento, o PLC300, o qual apresenta tamanho considerável, optou-se pela fixação de um trilho DIN 35 na lateral do quadro elétrico. A presença do cabo terra evita problemas de falta de aterramento. A Figura 49 apresenta o PLC300 no sistema.

Figura 49 – PLC300 no sistema



Fonte: Arquivo pessoal.

Com a chegada da veneziana para entrada de ar, foi possível finalizar a montagem do quadro elétrico. O conjunto instalado, por apresentar um filtro, reduz a entrada de poeira no sistema e aumenta sua vida útil. É interessante considerar que o quase preenchimento de espaço para entrada de cabos acaba por proteger o sistema, também, da entrada de poeira. Após a instalação da veneziana no quadro, é possível perceber a circulação de ar mais fluida pelo sistema. A Figura 50 apresenta o quadro elétrico instalado na bancada.

Figura 50 – Vista frontal do quadro elétrico

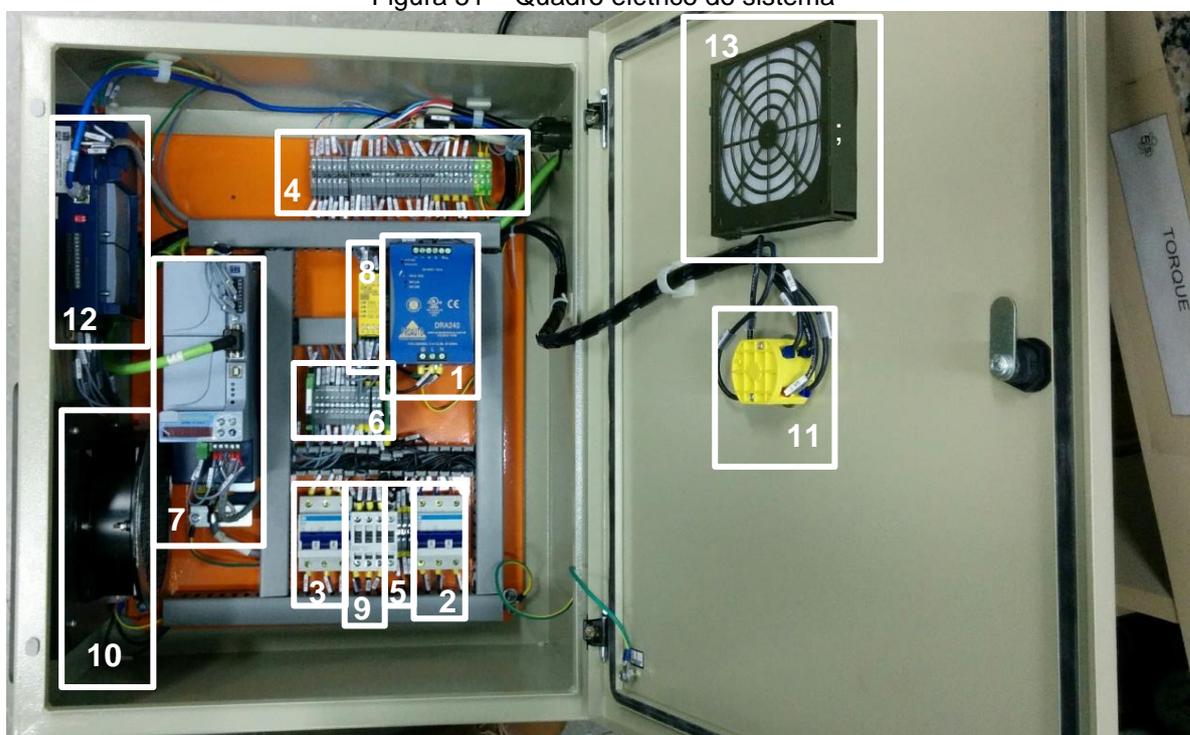


Fonte: Arquivo pessoal.

7.4.2. Leiaute final da parte Eletroeletrônica

A parte eletroeletrônica foi bastante modificada após a busca pelos aprimoramentos. Indo de conselhos simples como o posicionamento dos bornes de terra numa das extremidades do trilho DIN 35, à inclusão de elementos não antes previstos como o PLC300 e os bornes que recebem os fios do conector da IHM de *backup*, o leiaute final mantém a essência do inicial, mas apresenta os aprimoramentos propostos. A Figura 51 apresenta o leiaute final com a indicação dos elementos. O apêndice D traz a identificação dos cabos presentes nos bornes.

Figura 51 – Quadro elétrico do sistema



Fonte: Arquivo pessoal.

Os elementos componentes do sistema numerados na Figura 51 são:

1. fonte 24 V CC;
2. disjuntor MDW C20;
3. disjuntor MDW C10;
4. borneira 1;
5. borneira 2;
6. borneira 3;
7. servoconversor SCA06C05P3T4C3W2;
8. CP-D;

9. contator CWM12;
10. exaustor;
11. chave geral seccionadora;
12. PLC300
13. Veneziana com filtro.

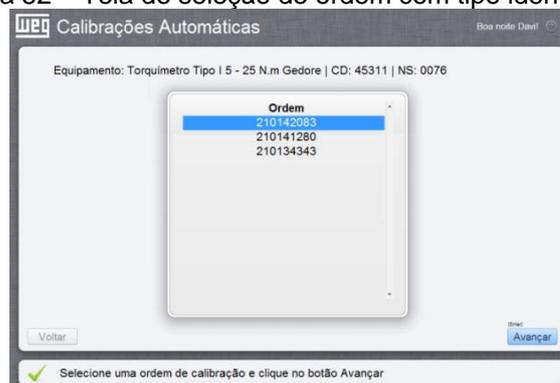
Um ponto curioso do leiaute final é seu caráter mais industrial: enquanto que há tensões alternadas de 380 V, 220 V, a tensão com corrente contínua é de 24 V. A ligação de comunicação entre o servoconversor e o controlador lógico programável é do tipo CAN (*Controller Area Network* – Rede de área do controlador, em tradução livre), e alimentada com a fonte de 24 V do servoconversor.

7.4.3. Leiaute final da parte de Programação e Controle

Como apontado nos aprimoramentos propostos, houve grandes desenvolvimentos na área de *software*. Apesar de algumas poucas partes terem permanecido intocadas, houveram refinamentos na maioria dos desenvolvimentos. As maiores diferenças em relação ao que foi apresentado na seção 6.1.3 do Capítulo 6 e o leiaute final são devidas a refinamentos dos códigos desenvolvidos e a inclusão do PLC300 no sistema.

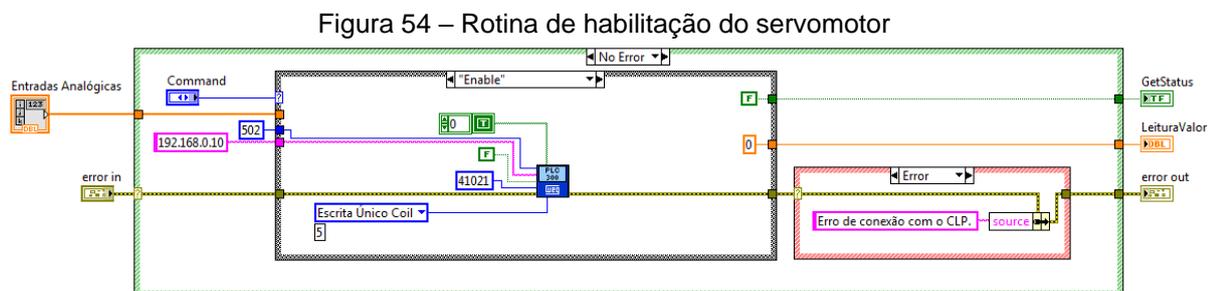
Não houve mudança no funcionamento baseado nas telas do SCA, com o sistema realizando as mesmas tarefas, com o referido sistema estando agora mais preparado para lidar com os torquímetros. A primeira mudança perceptível se dá após digitar o número do torquímetro na tela 1 e prosseguir para a tela de seleção da ordem de calibração, uma vez que já é possível ler o tipo de torquímetro especificado no seu nome, conforme apresentado na Figura 52.

Figura 52 – Tela de seleção de ordem com tipo identificado



Fonte: Arquivo pessoal.

Para possibilitar a comunicação com o PLC300, foram realizadas algumas adaptações em uma rotina cedida pelo corpo técnico da metrologia. A Figura 54 apresenta a rotina de habilitação do servomotor para permitir a movimentação. No caso de erro, há o aviso para informar o metrologista responsável.



Fonte: Arquivo pessoal.

Ao verificar que o equipamento é um calibrador de torquímetros, o próximo passo é a realização de um teste de comunicação com o padrão. Para isso, é feita uma verificação nas portas de comunicação disponíveis do computador para verificar onde o padrão de torque está presente. Uma vez encontrado, sua rotina de inicialização é realizada e depois alguns comandos são enviados para o PLC300: habilitação do modo automático, desabilitação de segurança do estado do servoconversor, habilitação do servoconversor e envio de uma velocidade mínima para a primeira operação.

Durante a calibração, o sistema deve acionar o padrão de torque de maneira a fazê-lo enviar a medição para a porta serial do computador, e limpar sua tela ao fazer isso, a cada vez que a tecla Enter for pressionada na tela 4. Essa situação não é mais realizada no bloco de leitura do SMP e sim em outro momento. É interessante perceber que o ato de pressionar a tecla Enter tem consequências similares na função mas diferentes no método para os dois tipos de torquímetro: enquanto que, para os de tipo I, o Enter salva o valor atual e pula para o próximo ponto da próxima faixa, para os de tipo II pula-se para o próximo ponto da mesma faixa.

As rotinas de movimentação foram aprimoradas: aumentando a segurança e resolvendo o problema do sistema estar apresentando a velocidade do ciclo anterior no início da calibração, as mudanças nas rotinas compreenderam também a substituição do bloco do SCA06 pelo bloco do PLC300.

Com a retirada do *DAQ USB-6501* e a instalação de relés de estado sólido no sistema, o comando que permite a leitura é realizado conforme a Figura 55.

Figura 55 – Rotina de impressão de leitura



Fonte: Arquivo pessoal.

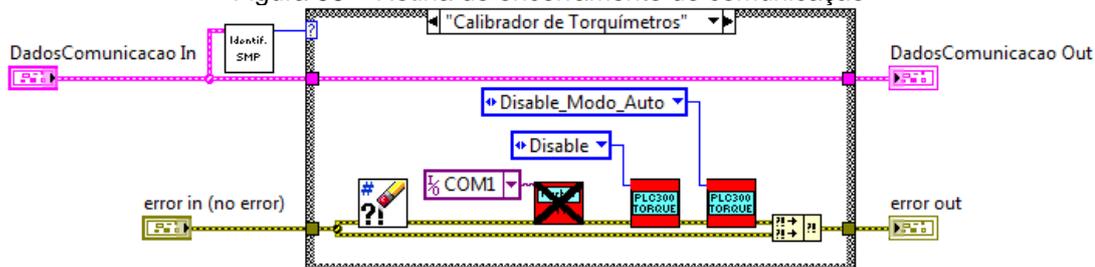
Para possibilitar a comunicação com o PLC300, foram Uma das funcionalidades da rotina desenvolvida é a escrita da velocidade no servoconversor, para que ela seja impressa no funcionamento do sistema. Outras funcionalidades envolvem início e parada de movimento, habilitação do modo manual, informações sobre o estado do servoconversor, entre outras.

Para reduzir a possibilidade de ocorrências de problemas com o portas não fechadas, desenvolveu-se uma rotina cujo funcionamento ocorre ao cancelar a calibração atual. Ao confirmar-se que o equipamento em uso é um torquímetro, o sistema fecha a porta de comunicação serial com o padrão, desabilita o servoconversor e se certifica que o modo automático está desabilitado, o que permite o uso da IHM de *backup*.

Ao verificar que o equipamento é um calibrador de torquímetros, é feita uma verificação nas portas de comunicação disponíveis do computador para verificar onde o padrão de torque está presente. Uma vez encontrado, sua rotina de inicialização é realizada e depois alguns comandos são enviados para o PLC300: habilitação do modo automático, desabilitação de segurança do estado do servoconversor, habilitação do servoconversor e envio de uma velocidade mínima para a primeira operação.

Uma vez que a calibração tiver sido finalizada (com todos os campos com os dados de ensaio preenchidos), o sistema fecha a porta serial na qual o padrão de torque está conectado, desabilita o servoconversor e o modo automático do sistema. A Figura 56 exhibe essa rotina desenvolvida.

Figura 56 – Rotina de encerramento de comunicação



Fonte: Arquivo pessoal.

A rotina especial de cancelamento pode ter seu bloco visto na Figura 56, representada pelo bloco do padrão de torque com um X negro cobrindo sua superfície. Nela, além de fechar a porta serial, é enviado também um comando para a não impressão do dado de torque do padrão.

Ainda que tenha sido possível esquematizar a programação do servoconversor, algumas peculiaridades fazem com que seja necessária sua presença para alguns testes e confirmações de que os desenvolvimentos estão funcionais.

De acordo com o manual do usuário, é necessário realizar algumas configurações manualmente no servoconversor, além da realização do auto-tuning (sendo importante a sua realização fora da estrutura do calibrador de torquímetros, uma vez que o processo envolve grande quantidade de rotações e acionamentos do servomotor). É preciso efetuar o auto-tuning para garantir que o servomotor consiga operar de acordo com o comando desejado.

Um dos parâmetros cruciais para o funcionamento do sistema e do servoconversor SCA06 é o P00099, o qual indica se o servomotor conectado ao SCA06 está habilitado ou não. Outro importante parâmetro a ser considerado é o P01020, o parâmetro de comando da PLC interna do SCA06. Por uma decisão construtiva, ambos precisam estar desabilitados para permitir a gravação do *software Ladder* de comando.

Com a presença do PLC300 no sistema, o qual apresenta comunicação com o computador, o programa do SCA06 foi bastante modificado, tornando-se um escravo do ponto de vista do sistema. Pontos interessantes envolvem o aviso da chegada de certa temperatura de seu ar interno para o PLC300, além das configurações para movimentação.

O PLC300, além de se comunicar com o computador, precisa garantir que o sistema desempenhe o papel desejado, sendo o mestre da comunicação CAN com o SCA06. Por praticidade, o programa do PLC300 apresenta a maior complexidade, uma vez que os testes de programação poderiam ser mais facilmente monitorados, além do fato de ser o PLC300 o dispositivo realizando a comunicação TCP/IP (*Transmission Control Protocol* - Protocolo de Controle de Transmissão / *Internet Protocol* - Protocolo de Internet, em tradução livre) com o computador via cabo Ethernet. O Apêndice C apresenta os códigos do PLC300 e do SCA06.

Com o fim dos desenvolvimentos do sistema, é pertinente fazer uma análise do projeto como um todo e elencar possíveis aprimoramentos que a solução proposta poderá receber no futuro. O capítulo 8 apresenta as considerações finais e perspectivas para trabalhos futuros.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

Neste capítulo final são apresentadas as principais conclusões, ganhos e perspectivas futuras que o trabalho proporcionou.

8.1. Conclusões

O trabalho foi motivado por uma aplicação bastante específica e, apesar de presente em um laboratório, há um viés totalmente industrial no sistema desenvolvido. Ainda que haja o lado experimental, de tentar automatizar completamente o processo, e que essas situações de busca pelo novo ofereçam certa tolerância para o não funcionamento, não há espaço para erros: o sistema precisa ser funcional e confiável. Apesar de apresentar consideráveis diferenças com o sistema anterior, do ponto de vista operacional, o corpo técnico conseguiu adaptar-se às diferenças e aprovou a operação no novo sistema.

Do ponto de vista da aplicação, os resultados encontrados foram deveras positivos. O aumento de velocidade da operação, juntamente com ausência dos costumeiros travamentos em momentos de maior exigência do servomotor, tão presentes na iteração passada, contribuíram para a aceitação rápida do sistema. A Tabela 5 apresenta os resultados em comparação com as especificações de projeto.

Tabela 5 – Especificações do projeto e resultados

Especificações	Descrição das Especificações	Valores-meta	Cumprimento	Valores-atingidos
Baixo tempo de ciclo	O sistema executa a calibração no menor tempo possível	1080 s (18 minutos)	Sim	600 s (10 minutos)
Elevada Repetitividade	Apresentar elevada e constante precisão independente da duração do uso	–	Sim	Sistema operou sem travamento mesmo durante dias de uso intenso durante todo o expediente
Simples Manutenção	Os processos de manutenção devem ser simples e seguros	–	Sim	Responsáveis pela manutenção aprovaram o sistema

Simplicidade de Operação	O calibrador deverá funcionar de maneira simples, intuitiva e que não requeira grande esforço físico do metrologista	–	Sim	Os metrologistas responsáveis aprovaram a nova versão do sistema
Elevada Segurança	O produto deverá operar sem oferecer riscos ao usuário e ao sistema	–	Sim	O sistema foi aprovado pelos responsáveis pela segurança
Funcionamento conforme as normas	O produto deverá operar de acordo com as Normas WPS-11214 e WPS-6046	–	Sim	O sistema foi aprovado pelos responsáveis pela normas
Elevada Compatibilidade	O produto deverá ser compatível com os sistemas utilizados na WEG	–	Sim	Os módulos desenvolvidos foram compatíveis com o SCA, além de ter sido possível substituir o módulo ECO5 pelo PLC300 sem grandes problemas
Especificações	Descrição das Especificações	Valores-meta	Cumprimento	Valores-atingidos

É nítida a evolução do sistema nos quesitos de manutenção e segurança. Os fios estão identificados, com documentação para auxiliar quaisquer reparos ou modificações, além da questão da segurança ter aumentado.

É interessante perceber o rico ambiente de desenvolvimento vivido pela Metrologia: os equipamentos WEG e as tecnologias utilizadas da National Instruments conseguem ser utilizadas em conjunto com excelentes resultados. Outro ponto animador foi a modularidade alcançada: a possibilidade de introduzir um elemento externo tardiamente no projeto e ainda conseguir os resultados alcançados é uma validação do sistema.

Não ter acesso total e irrestrito à bancada, além de toda a carga de torquímetros para calibrar durante a montagem e testes do protótipo causou várias situações difíceis durante o projeto.

O cronograma do projeto, considerando-se o início tardio (início do período letivo em 08 de agosto de 2016, início do estágio em 03 de outubro de 2016), com

os treinamentos antes de poder focar no projeto, os períodos de recesso e os atrasos de componentes vitais.

Muito do projeto só foi possível graças à equipe técnica da Empresa. Sua competência diminuiu as situações de dúvida e potencializou os resultados. Desenvolver um trabalho para ser utilizado por pessoas capacitadas facilitou muito os desenvolvimentos.

Com exceção da montagem do protótipo ocorrer no mês em que o sistema seria mais utilizado, as condições de trabalho foram ideais para um projeto de desenvolvimento de engenharia. Indo do corpo técnico competente, presente nas necessidades de suporte, aos materiais disponíveis para uso, pode-se dizer que a situação de trabalho é extremamente motivadora para engenheiros e trabalhadores do ramo da tecnologia.

Por mais que a eminência da chegada do prazo funcionasse de maneira a aumentar a ansiedade e diminuir a tomada de decisões acertadas de maneira a remediar as situações, não houveram grandes perdas com as situações vivenciadas. O PRODIP e a multidisciplinaridade do trabalho foram bastante úteis para mantê-lo realizável ainda que com algumas situações indesejadas.

O trabalho mostrou-se como uma oportunidade de validar toda a “caminhada acadêmica” empreendida até então. Com situações que pareceram testar o que foi aprendido na maioria das disciplinas componentes do curso de Engenharia de Controle e Automação, mas com a necessidade de complementação com o que foi aprendido no Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, o trabalho superou as expectativas de “fechamento com chave de ouro”, sendo recompensador desenvolvê-lo e tê-lo como conclusão de uma etapa tão valiosa, que é o processo de graduação.

Apesar da sensação de validação do curso de Engenharia de Controle e Automação como um todo, há a clara sensação de há espaço para melhorias. A inclusão do Projeto Integrador poderá ser um importante passo para uma formação que prepare o graduando para situações típicas da vida profissional de um engenheiro. Talvez uma reflexão para a importância do aprendizado industrial seja válida para o Curso, com inegáveis benefícios para os estudantes que procurarem essa área no futuro.

8.2. Propostas para trabalhos futuros

A primeira sugestão para trabalhos futuros é a busca por uma maneira de aumentar a independência da calibração de torquímetros de tipo II do metrologista responsável pela calibração. Apesar dos empecilhos (padrão não oferece leitura constante, porta analógica que apresenta erro muito grande na apresentação do valor de torque, o padrão de torque e o servoconversor serem as únicas coisas líveis no sistema), a ideia é interessante e desafiadora.

Sem a obrigação de realizar todo projeto com a urgência da lista de torquímetros a calibrar, seria interessante uma reflexão sobre como deixar o sistema mais seguro e mais imune ao erro do operador.

É importante o acompanhamento da operação do sistema durante um período de grande demanda (o próximo “mês dos torquímetros”), para verificar a existência de erros ou da possibilidade de melhorias.

Uma vez que o banco de dados da WEG esteja corrigido, é importante habilitar novamente a função verificação da calibração dos torquímetros, liberando do operador a necessidade de revisar os valores para confirmação manual.

Por mais que haja um elemento muito constante de tornar perenes soluções temporárias, a retirada do PLC300 poderá ser realizada sem diminuir as funcionalidades do sistema: com a aquisição de um módulo de expansão ECO1, o qual oferece mais entradas e saídas digitais para o SCA06, e o módulo ECO5 operacional, seria possível para o sistema continuar oferecendo as mesmas funcionalidades de outrora sem o PLC300.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, M. J.; YEN, W. M. **Introduction to Measurement**. 1. ed. Long Grove: Waveland Press, 2001. 310 p.
- BEGA, E. A. (Org.). **Instrumentação Industrial**. 3. Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- BORGES, J. C. S.; SOBRINHO, C. A. N.; LIMA FILHO, A. C.; BELO, F. A. Métodos e técnicas de medição de torque diretamente em eixos rotativos. **Revista Principia**. N° 28 – Edição Especial. João Pessoa, Dezembro de 2015. 121 - 129.
- BRODEY, N. The importance of torque management. **Fast**. Julho de 2010. 20 - 21.
- DE SILVA, G. M. S. **Basic Metrology for ISO 9000 Certification**. 3. ed. London: Butterworth-Heinemann, 2002. 247 p.
- DUNN, W. C. **Fundamentos de Instrumentação Industrial e Controle de Processos**. São Paulo: Bookman Editora, 2013. 336 p.
- GONÇALVES Jr., A. A.; SOUSA, A. R. **Fundamentos de metrologia científica e industrial**. 1. ed. Barueri: Manole, 2008. 408 p.
- HUANG, J. **Torque Wrenches: Why you need one and how to use them**. Fevereiro 2010. Cycling news.com <http://www.cyclingnews.com/features/torque-wrenches-why-you-need-one-and-how-to-use-them/>
- INMETRO. **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de Metrologia** : portaria INMETRO nº 029 de 1995 / INMETRO, SENAI - Departamento Nacional. 5. ed. -- Rio de Janeiro: Ed. SENAI, 2007.
- KRESS, W. C. **Torque-indicating wrench**. US Pat. 2167720, 1 ago. 1939. 3p.
- MARSHALL, E. D. **Explaining the Mysteries of Torque** – Part 1: Why is it necessary to tighten fasteners accurately? Banbury: Norbar Torque Tools, 2009.
- OAKLEY, B. **A mind for numbers: how to excel at math and science (even if you have flunked algebra)**. 1. Ed. Londres: Penguin. 2014.
- PIRSIG, R. M. **Zen e a arte da manutenção de motocicletas: uma investigação sobre os valores**. 2. ed. São Paulo: M. Fontes, 2009. 441p.
- SCHRAND, D. **The Basics of Torque Measurement**. Indianapolis: Sendev Technical Notes and Articles, 2016.
- TEGGER. **How does the torque wrench work?** Disponível em: http://www.tegger.com/hondafaq/torque_wrench/. Acesso em: 04 novembro 2016.

ULRICH, J. **The importance of Proper Torque**. Indianapolis: Tangent Labs, 2011.

WINCZNER, K. **The Basics of Torque Measurement**. 2006. Disponível em:
<http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1273988&page_number=1>.
Acesso em: 02 dez. 2016.

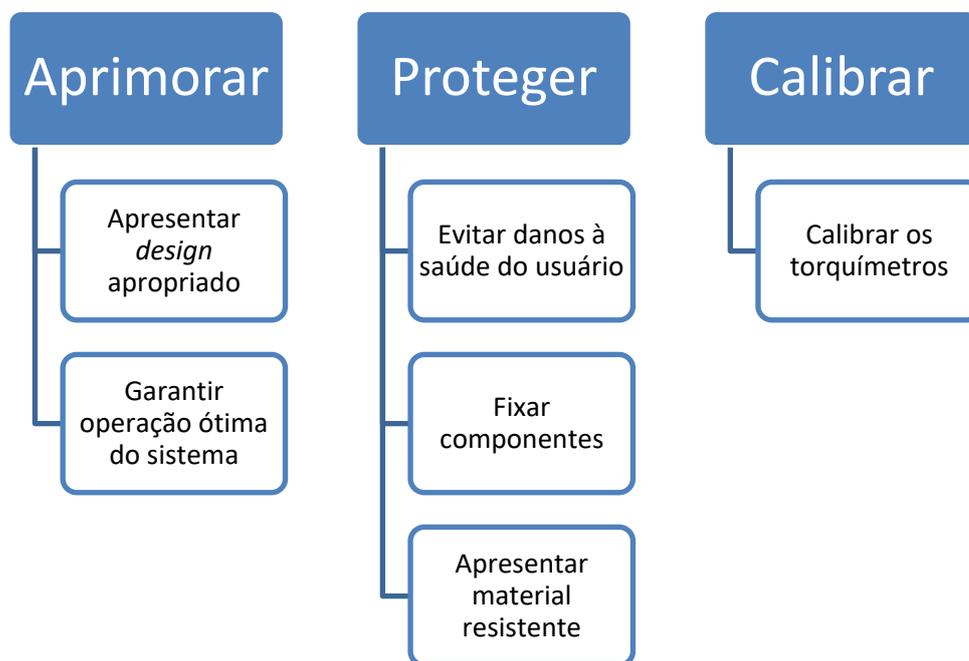
ZIMMERMAN, H. W. **Torque measuring wrench**. US Pat. 2231240, 11 fev. 1941.
4p.

APÊNDICE A – SÍNTESE FUNCIONAL

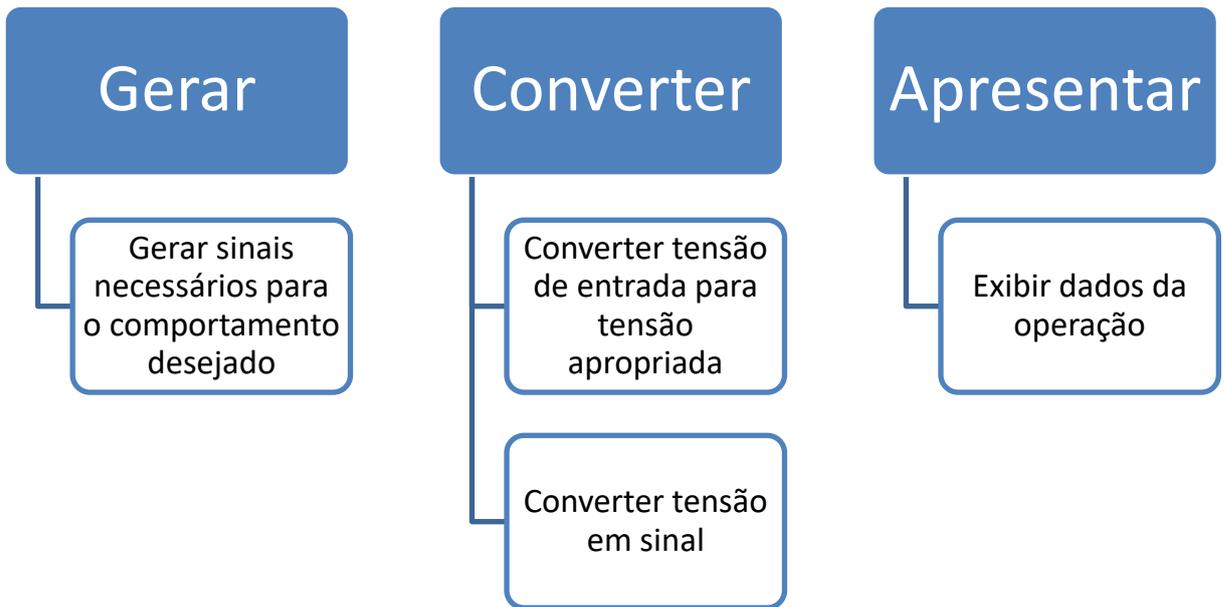
Textos elaborados pelo próprio autor, a fim de complementar a sua argumentação



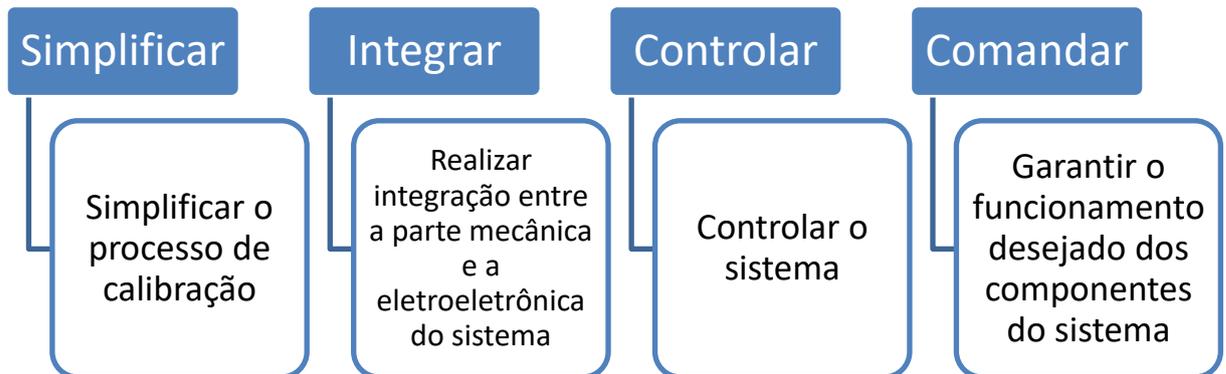
a) Função Global



b) Funções Parciais – Parte Mecânica



c) Funções Parciais – Parte Eletroeletrônica

d) Funções Parciais – Parte de *software*

APÊNDICE B – LISTA DE ELEMENTOS DO SISTEMA

Mecânica

1. **Quadro Elétrico**

Caixa de comando do sistema, feita de chapas de aço carbono, abriga a maior parte dos elementos eletroeletrônicos do sistema.

2. **Conector do motor à estrutura mecânica**

Peça usinada em aço 1020, utilizada para fixar o servomotor na estrutura mecânica.

3. **Bucha**

Peça usinada em aço 1020, utilizada para transferir o giro do servomotor ao eixo da estrutura mecânica.

4. **Placa de Montagem**

Feita de chapa de aço, serve de base para fixação dos elementos eletroeletrônicos do sistema.

5. **Canaletas**

Canaletas plásticas de 30 mm de largura por 50 mm de altura.

6. **Canaletas**

Trilho DIN35 7,5x35x2000mm feito de aço galvanizado.

7. **Cabos**

Cabos multivias com diâmetros variados. Há cabos específicos para a passagem de sinais com corrente alternada e cabos específicos para sinais de corrente contínua.

8. **IHM de segurança**

Baseada na caixa plástica PBW-3 da WEG.

9. **IHM de *backup***

Baseada em uma caixa de poliéster da Schmersal.

10. Tomada Trifásica de 5 pinos

Tomada trifásica em padrão industrial com 5 pinos (3 fases, um neutro e um terra) da Steck.

11. Parafusos e elementos de fixação

Parafusos, roscas e arruelas de variados tamanhos, usados para a fixação de elementos como o exaustor e o pino de conexão da IHM de *backup*.

12. Rebites

Rebites de alumínio utilizados para a fixação dos trilhos DIN35 na Placa de Montagem.

13. Espiraduto

Espiraduto de borracha para organização e proteção de cabos.

14. Abraçadeiras

Abraçadeiras plásticas utilizadas na organização dos cabos.

15. Fixador de cabos elétricos

Fixador adesivo para cabos elétricos RA18.

16. Borracha anti-corte

Tiras de borracha cortadas, posicionadas e fixadas no quadro elétrico para evitar danos aos cabos que entram no quadro.

17. Luvas e etiquetas de identificação

Dispositivos que auxiliam na identificação dos cabos, facilitando situações de montagem e manutenção.

18. Servomotor SWA-56-4-6,1-30

Servomotor fabricado pela WEG e utilizado para a movimentação do dispositivo de aplicação de torque.

19. Terminais

Terminais metálicos com acabamento plástico para facilitar as conexões dos cabos componentes do sistema.

20. **Conjunto veneziana para entrada de ar**

Conjunto semelhante ao do exaustor de ar, mas sem o elemento eletroeletrônico, permite entrada de ar no sistema para facilitar a circulação interna.

Eletroeletrônica

21. **SCA06 SCA06C05P3T4C3W2**

Servoconversor, fabricado pela WEG, responsável por comandar o servomotor. É energizado com alimentação trifásica com 380 V e corrente alternada.

22. **PLC300**

Controlador lógico programável fabricado pela WEG, responsável por receber os comandos do computador e repassa-los ao servoconversor.

23. **Exaustor Full tech 220 V**

Responsável por promover a recirculação do ar dentro do gabinete, evitando o superaquecimento do sistema.

24. **CP-D**

Controle de Parada de Emergência. É um dispositivo fabricado pela WEG e serve para travar (e reiniciar, se desejado) o sistema em caso de emergência.

25. **Bornes**

Elementos que permitem a conexão de cabos advindos de diferentes partes do sistema.

26. **Disjuntores**

Disjuntores MDW C10 e MDW C20 servem para a proteção do sistema.

27. **Contator CWM12**

O contator CWM12 é outro elemento de segurança, que corta a alimentação do servoconversor no caso de problema.

28. **Fonte 24 V**

A Fonte de 24 V é importante por fornecer alimentação para o circuito de segurança, além de energizar elementos como sensores de fim de curso.

29. Chave seccionadora

A chave seccionadora, quando acionada, permite a passagem da alimentação para o sistema.

30. Bloco de Iluminação

Bloco de iluminação, fabricado pela WEG, que funciona ao ser alimentado com 24 V.

31. Botão cima/baixo

Botões, fabricados pela WEG, responsáveis por permitir a movimentação do efetuator de força no sistema.

32. Potenciômetro 5k Ω

Potenciômetro presente na IHM de *backup* utilizado para a definição da velocidade de operação.

33. Botão sem retenção

Botão, fabricado pela WEG, utilizado para a limpeza dos dados de torque presentes no padrão.

34. Bloco de contato (tanto NA quanto NF)

Blocos de contato fabricados pela WEG que permitem as operações desejadas.

35. Botão de emergência

Botão de fabricação WEG para ser utilizado em situações de emergência.

36. Botão de *Reset* iluminado

Botão responsável por reintroduzir o sistema de volta à operação após uma situação de emergência. Quando é necessário pressioná-lo, há a iluminação do seu bloco de iluminação.

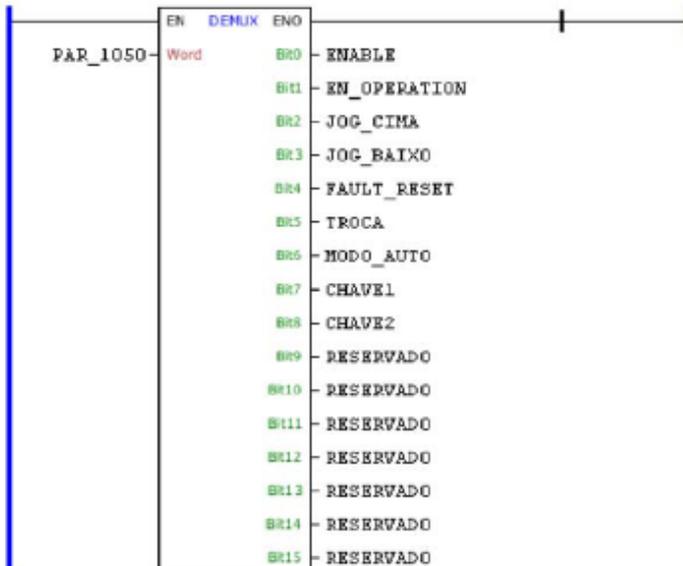
37. Relés estado sólido

Relés de estado sólido, cuja ativação é realizada com 24 V CC. Os relés são usados para o acionamento inteligente do exaustor e comando do padrão de torque.

APÊNDICE C – CÓDIGOS EM LADDER

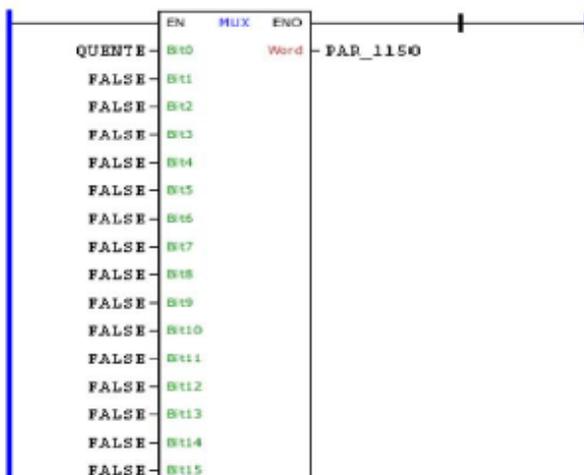
CalibradorDeTorquímetrosFinal - SCA06 - CAN - 26/02/2017 18:16 - 1 / 9

1: Comunicação CAN



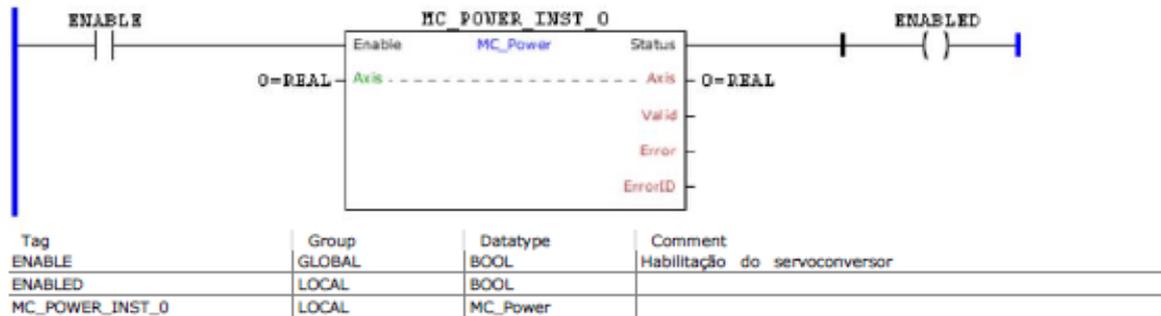
Tag	Group	Datatype	Comment
CHAVE1	GLOBAL	BOOL	Flag que indica que o torquímetro é do Tipo I
CHAVE2	GLOBAL	BOOL	Flag que indica que o torquímetro é do Tipo II
ENABLE	GLOBAL	BOOL	Habilitação do servoconversor
EN_OPERATION	GLOBAL	BOOL	Flag que indica que o servoconversor está habilitado
FAULT_RESET	GLOBAL	BOOL	Reset de falhas do drive
JOG_BAIXO	GLOBAL	BOOL	Movimento no sentido... horario
JOG_CIMA	GLOBAL	BOOL	Movimento no sentido... anti-horario
MODO_AUTO	GLOBAL	BOOL	Indica se o sistema está no modo automático.
PAR_1050	GLOBAL_PARAMET...	INT	Parâmetro do Usuário
RESERVADO	LOCAL	BOOL	Reservado para eventual uso posterior.
TROCA	GLOBAL	BOOL	Flag que indica variação de velocidade

2: Transfere o byte de Resposta para o PLC300

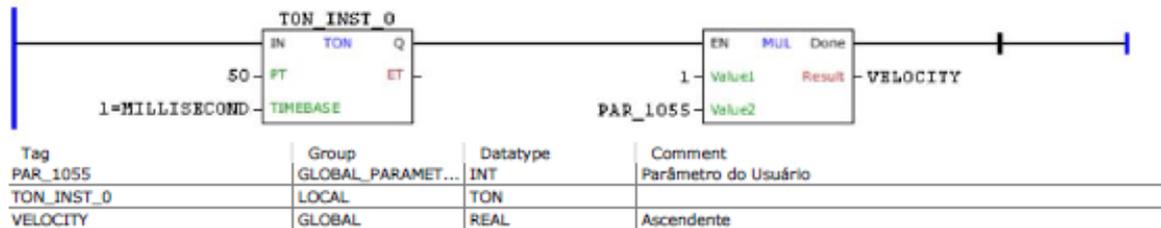


Tag	Group	Datatype	Comment
FALSE	GLOBAL_SYSTEM	BOOL	Sempre 0
PAR_1150	GLOBAL_PARAMET...	INT	Parâmetro do Usuário
QUENTE	GLOBAL	BOOL	Flag que indica sobretemperatura

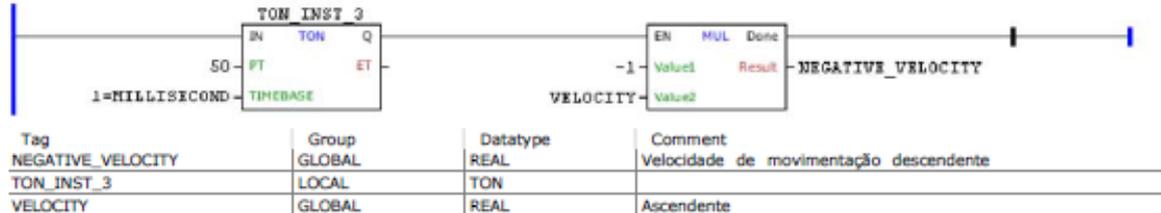
1: Habilita o drive



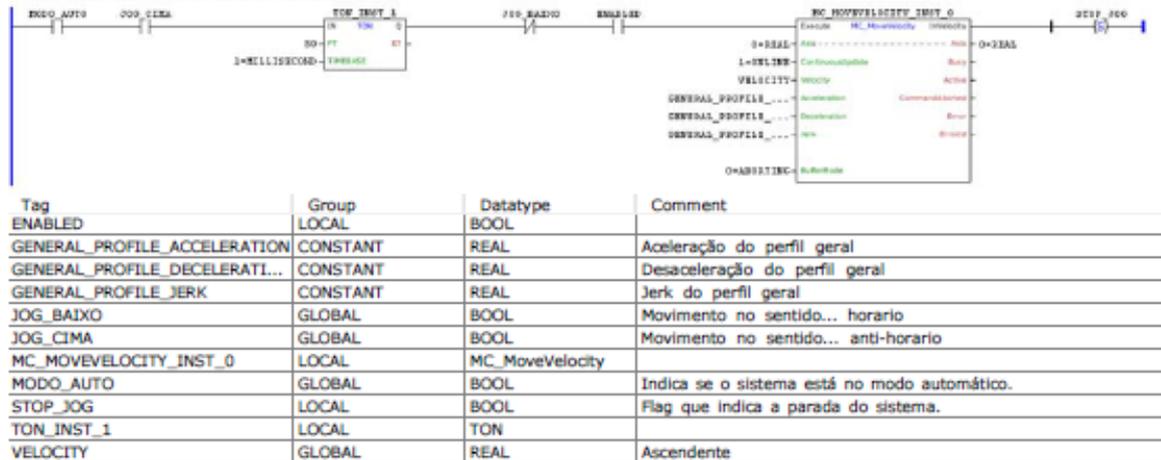
2: Configuração de velocidade positiva



3: Configuração de velocidade negativa



4: JOG Cima no Modo Automático



5: JOG Baixo no Modo Automático



Tag	Group	Datatype	Comment
ENABLED	LOCAL	BOOL	
GENERAL_PROFILE_ACCELERATION	CONSTANT	REAL	Aceleração do perfil geral
GENERAL_PROFILE_DECELERATI...	CONSTANT	REAL	Desaceleração do perfil geral
GENERAL_PROFILE_JERK	CONSTANT	REAL	Jerk do perfil geral
JOG_BAIXO	GLOBAL	BOOL	Movimento no sentido... horario
JOG_CIMA	GLOBAL	BOOL	Movimento no sentido... anti-horario
MC_MOVEVELOCITY_INST_1	LOCAL	MC_MoveVelocity	
MODO_AUTO	GLOBAL	BOOL	Indica se o sistema está no modo automático.
NEGATIVE_VELOCITY	GLOBAL	REAL	Velocidade de movimentação descendente
STOP_JOG	LOCAL	BOOL	Flag que indica a parada do sistema.
TON_INST_4	LOCAL	TON	

6: JOG Baixo no Modo Manual



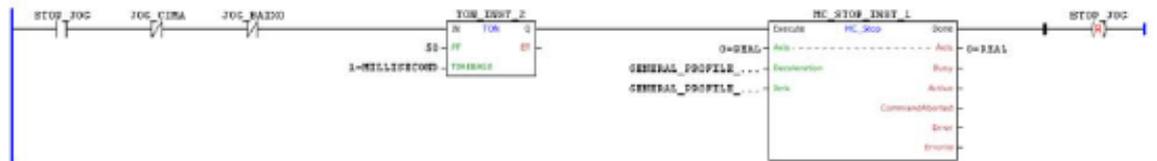
Tag	Group	Datatype	Comment
CHAVE1	GLOBAL	BOOL	Flag que indica que o torquímetro é do Tipo I
CHAVE2	GLOBAL	BOOL	Flag que indica que o torquímetro é do Tipo II
ENABLED	LOCAL	BOOL	
GENERAL_PROFILE_ACCELERATION	CONSTANT	REAL	Aceleração do perfil geral
GENERAL_PROFILE_DECELERATI...	CONSTANT	REAL	Desaceleração do perfil geral
GENERAL_PROFILE_JERK	CONSTANT	REAL	Jerk do perfil geral
JOG_BAIXO	GLOBAL	BOOL	Movimento no sentido... horario
JOG_CIMA	GLOBAL	BOOL	Movimento no sentido... anti-horario
MC_MOVEVELOCITY_INST_2	LOCAL	MC_MoveVelocity	
MODO_AUTO	GLOBAL	BOOL	Indica se o sistema está no modo automático.
NEGATIVE_VELOCITY	GLOBAL	REAL	Velocidade de movimentação descendente
STOP_JOG	LOCAL	BOOL	Flag que indica a parada do sistema.
TON_INST_5	LOCAL	TON	

7: JOG Cima no Modo Manual



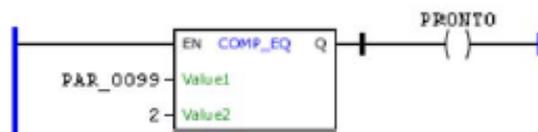
Tag	Group	Datatype	Comment
CHAVE1	GLOBAL	BOOL	Flag que indica que o torquímetro é do Tipo I
CHAVE2	GLOBAL	BOOL	Flag que indica que o torquímetro é do Tipo II
ENABLED	LOCAL	BOOL	
GENERAL_PROFILE_ACCELERATION	CONSTANT	REAL	Aceleração do perfil geral
GENERAL_PROFILE_DECELERATI...	CONSTANT	REAL	Desaceleração do perfil geral
GENERAL_PROFILE_JERK	CONSTANT	REAL	Jerk do perfil geral
JOG_BAIXO	GLOBAL	BOOL	Movimento no sentido... horario
JOG_CIMA	GLOBAL	BOOL	Movimento no sentido... anti-horario
MC_MOVEVELOCITY_INST_3	LOCAL	MC_MoveVelocity	
MODO_AUTO	GLOBAL	BOOL	Indica se o sistema está no modo automático.
STOP_JOG	LOCAL	BOOL	Flag que indica a parada do sistema.
TON_INST_6	LOCAL	TON	
VELOCITY	GLOBAL	REAL	Ascendente

8: Parada do motor



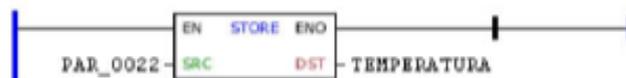
Tag	Group	Datatype	Comment
GENERAL_PROFILE_DECELERATI...	CONSTANT	REAL	Desaceleração do perfil geral
GENERAL_PROFILE_JERK	CONSTANT	REAL	Jerk do perfil geral
JOG_BAIXO	GLOBAL	BOOL	Movimento no sentido... horario
JOG_CIMA	GLOBAL	BOOL	Movimento no sentido... anti-horario
MC_STOP_INST_1	LOCAL	MC_Stop	
STOP_JOG	LOCAL	BOOL	Flag que indica a parada do sistema.
TON_INST_2	LOCAL	TON	

9: Servo habilitado



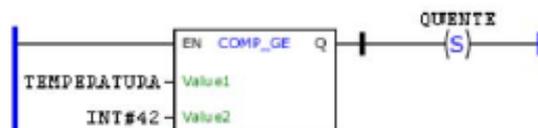
Tag	Group	Datatype	Comment
PAR_0099	GLOBAL_PARAMET...	UINT	Habilitação
PRONTO	LOCAL	BOOL	

10: Aquisição de temperatura



Tag	Group	Datatype	Comment
PAR_0022	GLOBAL_PARAMET...	UINT	Temperatura do Dissipador
TEMPERATURA	LOCAL	INT	

11: Indicação de Sobretemperatura



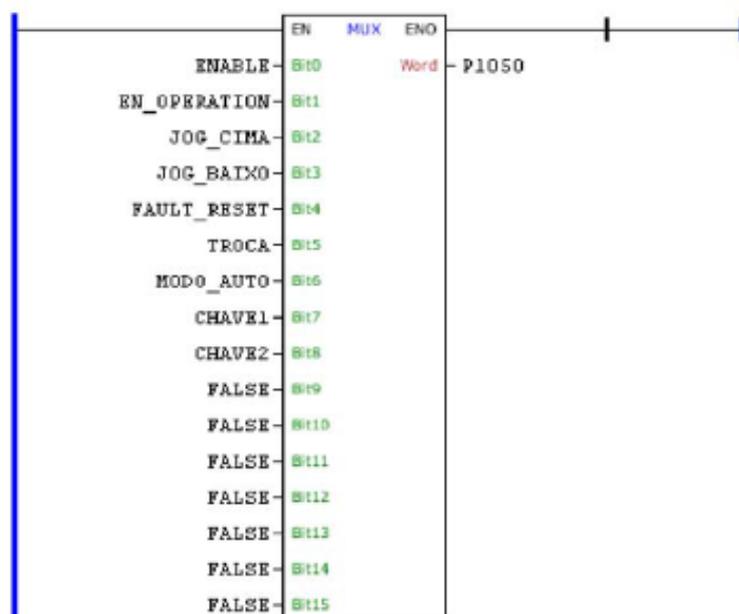
Tag	Group	Datatype	Comment
QUENTE	GLOBAL	BOOL	Flag que indica sobretemperatura
TEMPERATURA	LOCAL	INT	

12: Temperatura novamente dentro dos níveis operacionais



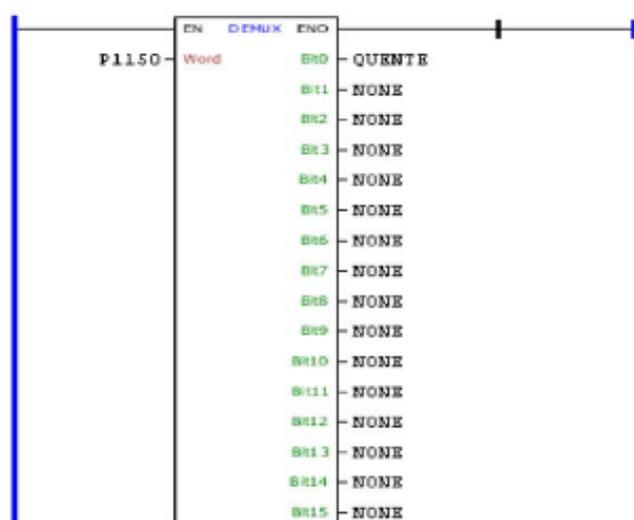
Tag	Group	Datatype	Comment
QUENTE	GLOBAL	BOOL	Flag que indica sobretemperatura
TEMPERATURA	LOCAL	INT	

1: Transfere o byte de comando para parâmetro 1050



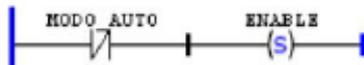
Tag	Group	Datatype	Comment
CHAVE1	GLOBAL	BOOL	Variável que indica que o torquímetro é do tipo I.
CHAVE2	GLOBAL	BOOL	Variável que indica que o torquímetro é do tipo II.
ENABLE	GLOBAL	BOOL	Variável que indica o estado (habilitado ou não) do servoconver
EN_OPERATION	GLOBAL	BOOL	Flag que indica se o servoconversor está habilitado.
FALSE	GLOBAL_SYSTEM	BOOL	Sempre 0
FAULT_RESET	GLOBAL	BOOL	Flag relativa ao reset das falhas.
JOG_BAIXO	GLOBAL	BOOL	Comando para o sistema ir para baixo.
JOG_CIMA	GLOBAL	BOOL	Comando para o sistema ir para cima.
MODO_AUTO	GLOBAL	BOOL	Variável que indica o modo de operação (manual ou automático)
P1050	GLOBAL_NETWORK	WORD	Parâmetro com informações importantes para o funcionamento
TROCA	GLOBAL	BOOL	Flag relativa à necessidade de atualizar a velocidade do servom

2: Byte de resposta do SCA06



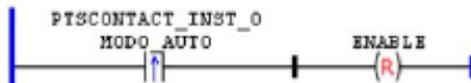
Tag	Group	Datatype	Comment
NONE	LOCAL	BOOL	
P1150	GLOBAL_NETWORK	WORD	Byte de Resposta do SCA 06.
QUENTE	GLOBAL	BOOL	Flag que indica sobretemperatura.

1: Enable do SCA06 para modo manual



Tag	Group	Datatype	Comment
ENABLE	GLOBAL	BOOL	Variável que indica o estado (habilitado ou não) do servoconver
MODO_AUTO	GLOBAL	BOOL	Variável que indica o modo de operação (manual ou automático)

2: Disable do SCA06 no m



Tag	Group	Datatype	Comment
ENABLE	GLOBAL	BOOL	Variável que indica o estado (habilitado ou não) do servoconver
MODO_AUTO	GLOBAL	BOOL	Variável que indica o modo de operação (manual ou automático)
PTSCONTACT_INST_0	LOCAL	PTSCONTACT	

3: Habilitar movimento para cima



Tag	Group	Datatype	Comment
DI3	GLOBAL_IO	BOOL	Entrada digital 3 - CIMA
DI4	GLOBAL_IO	BOOL	Entrada digital 4 - BAIXO
JOG_CIMA	GLOBAL	BOOL	Comando para o sistema ir para cima.
MODO_AUTO	GLOBAL	BOOL	Variável que indica o modo de operação (manual ou automático)

4: Habilitar movimento para baixo



Tag	Group	Datatype	Comment
DI3	GLOBAL_IO	BOOL	Entrada digital 3 - CIMA
DI4	GLOBAL_IO	BOOL	Entrada digital 4 - BAIXO
JOG_BAIXO	GLOBAL	BOOL	Comando para o sistema ir para baixo.
MODO_AUTO	GLOBAL	BOOL	Variável que indica o modo de operação (manual ou automático)

5: Garantia de parada



Tag	Group	Datatype	Comment
DI3	GLOBAL_IO	BOOL	Entrada digital 3 - CIMA
DI4	GLOBAL_IO	BOOL	Entrada digital 4 - BAIXO
JOG_BAIXO	GLOBAL	BOOL	Comando para o sistema ir para baixo.
JOG_CIMA	GLOBAL	BOOL	Comando para o sistema ir para cima.
MODO_AUTO	GLOBAL	BOOL	Variável que indica o modo de operação (manual ou automático)

6: Leitura do potenciômetro



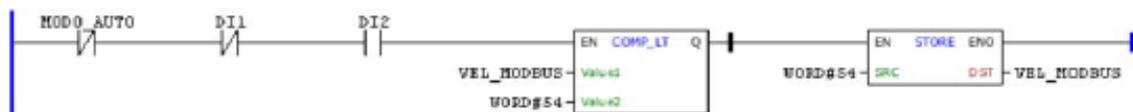
Tag	Group	Datatype	Comment
AI1	GLOBAL_IO	INT	Entrada analógica 1
GANHO	LOCAL	REAL	Constante de conversão dos pontos da analógica para RPM.
MODO_AUTO	GLOBAL	BOOL	Variável que indica o modo de operação (manual ou automático)
POTENCIOMETRO	LOCAL	INT	Valor lido no potenciômetro da velocidade no modo manual.
VEL_MODBUS	GLOBAL	WORD	Velocidade recebida pela MODBUS TCP/IP.

7: Limite Inferior de velocidade para Torquímetros do Tipo I



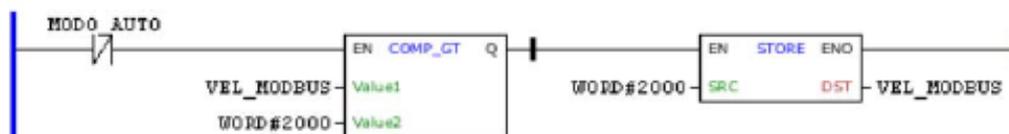
Tag	Group	Datatype	Comment
DI1	GLOBAL_IO	BOOL	Entrada digital 1 - Chave 1
DI2	GLOBAL_IO	BOOL	Entrada digital 2 - Chave 2
MODO_AUTO	GLOBAL	BOOL	Variável que indica o modo de operação (manual ou automático)
VEL_MODBUS	GLOBAL	WORD	Velocidade recebida pela MODBUS TCP/IP.

8: Limite Inferior de velocidade para Torquímetros do Tipo II



Tag	Group	Datatype	Comment
DI1	GLOBAL_IO	BOOL	Entrada digital 1 - Chave 1
DI2	GLOBAL_IO	BOOL	Entrada digital 2 - Chave 2
MODO_AUTO	GLOBAL	BOOL	Variável que indica o modo de operação (manual ou automático)
VEL_MODBUS	GLOBAL	WORD	Velocidade recebida pela MODBUS TCP/IP.

9: Limite Superior de Velocidade



Tag	Group	Datatype	Comment
MODO_AUTO	GLOBAL	BOOL	Variável que indica o modo de operação (manual ou automático)
VEL_MODBUS	GLOBAL	WORD	Velocidade recebida pela MODBUS TCP/IP.

10: Verificação da necessidade de atualizar a velocidade



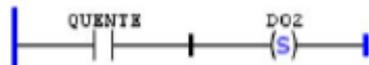
Tag	Group	Datatype	Comment
P1055	GLOBAL_NETWORK	WORD	Parâmetro necessário para o funcionamento do sistema.
TROCA	GLOBAL	BOOL	Flag relativa à necessidade de atualizar a velocidade do servom
VEL_MODBUS	GLOBAL	WORD	Velocidade recebida pela MODBUS TCP/IP.

11: Atualização da velocidade



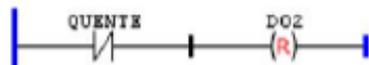
Tag	Group	Datatype	Comment
P1055	GLOBAL_NETWORK	WORD	Parâmetro necessário para o funcionamento do sistema.
TON_INST_0	LOCAL	TON	
TON_INST_1	LOCAL	TON	
TROCA	GLOBAL	BOOL	Flag relativa à necessidade de atualizar a velocidade do servom
VEL_MODBUS	GLOBAL	WORD	Velocidade recebida pela MODBUS TCP/IP.

12: Habilitação do Exaustor



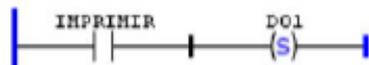
Tag	Group	Datatype	Comment
DO2	GLOBAL_IO	BOOL	Saída digital 2
QUENTE	GLOBAL	BOOL	Flag que indica sobretemperatura.

13: Desabilitação do exaustor



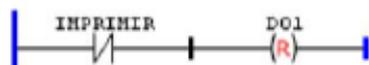
Tag	Group	Datatype	Comment
DO2	GLOBAL_IO	BOOL	Saída digital 2
QUENTE	GLOBAL	BOOL	Flag que indica sobretemperatura.

14: Habilitação da leitura



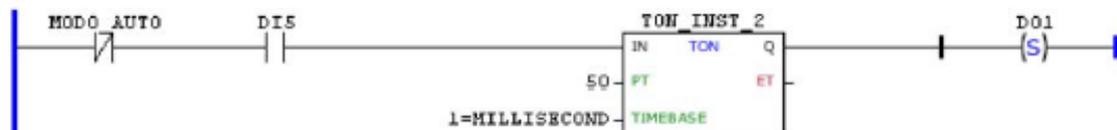
Tag	Group	Datatype	Comment
DO1	GLOBAL_IO	BOOL	Saída digital 1
IMPRIMIR	GLOBAL	BOOL	Flag que indica o comando de impressão do padrão de torque.

15: Desabilitação de leitura



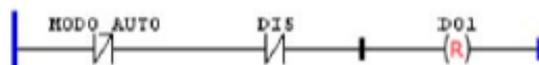
Tag	Group	Datatype	Comment
DO1	GLOBAL_IO	BOOL	Saída digital 1
IMPRIMIR	GLOBAL	BOOL	Flag que indica o comando de impressão do padrão de torque.

16: Habilitação da leitura



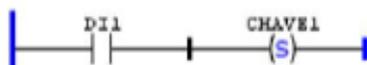
Tag	Group	Datatype	Comment
DIS	GLOBAL_IO	BOOL	Entrada digital 5
DO1	GLOBAL_IO	BOOL	Saída digital 1
MODO_AUTO	GLOBAL	BOOL	Variável que indica o modo de operação (manual ou automático)
TON_INST_2	LOCAL	TON	

17: Desabilitação de leitura



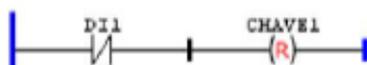
Tag	Group	Datatype	Comment
DIS	GLOBAL_IO	BOOL	Entrada digital 5
DO1	GLOBAL_IO	BOOL	Saída digital 1
MODO_AUTO	GLOBAL	BOOL	Variável que indica o modo de operação (manual ou automático)

18: Indicação de Torquímetro do Tipo I



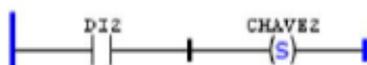
Tag	Group	Datatype	Comment
CHAVE1	GLOBAL	BOOL	Variável que indica que o torquímetro é do tipo I.
DI1	GLOBAL_IO	BOOL	Entrada digital 1 - Chave 1

19: Desabilitação da chave 1



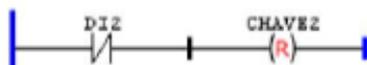
Tag	Group	Datatype	Comment
CHAVE1	GLOBAL	BOOL	Variável que indica que o torquímetro é do tipo I.
DI1	GLOBAL_IO	BOOL	Entrada digital 1 - Chave 1

20: Indicação de Torquímetro do Tipo II



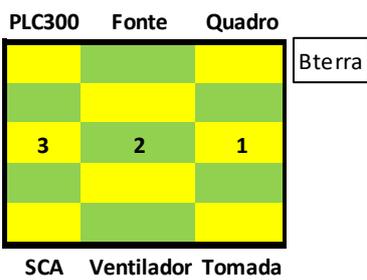
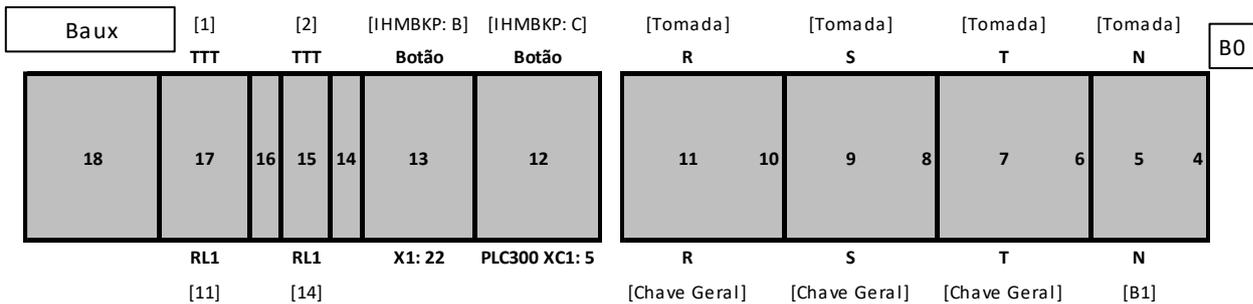
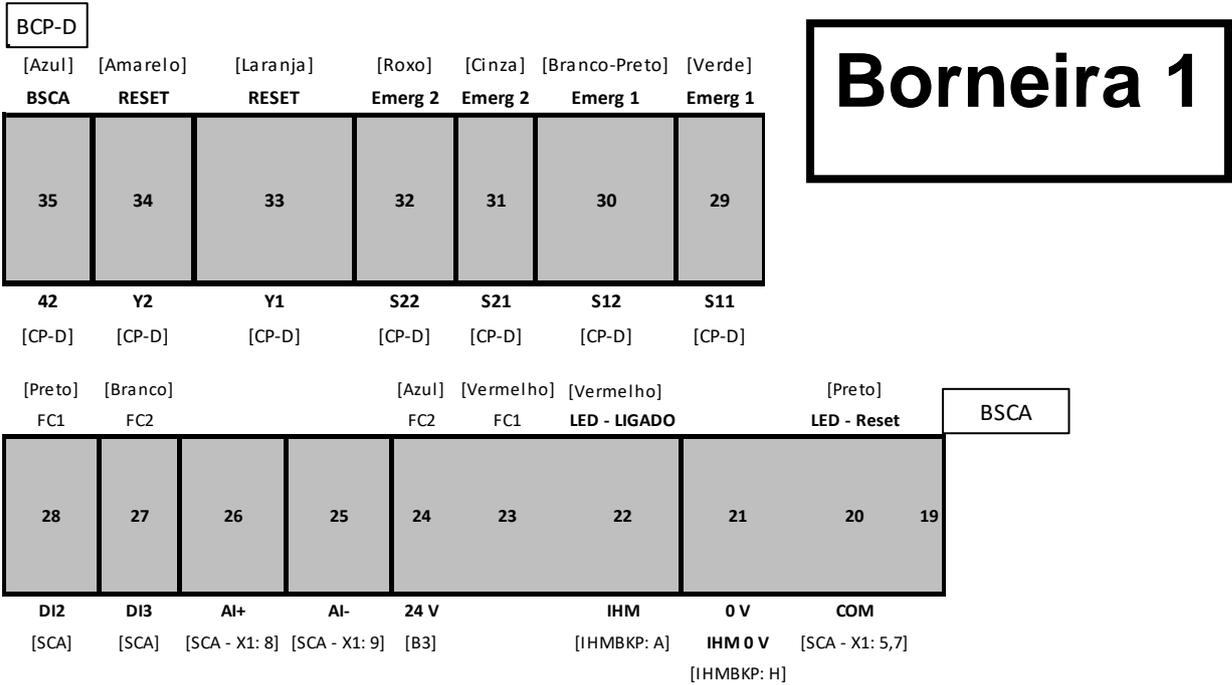
Tag	Group	Datatype	Comment
CHAVE2	GLOBAL	BOOL	Variável que indica que o torquímetro é do tipo II.
DI2	GLOBAL_IO	BOOL	Entrada digital 2 - Chave 2

21: Desabilitação da chave 2

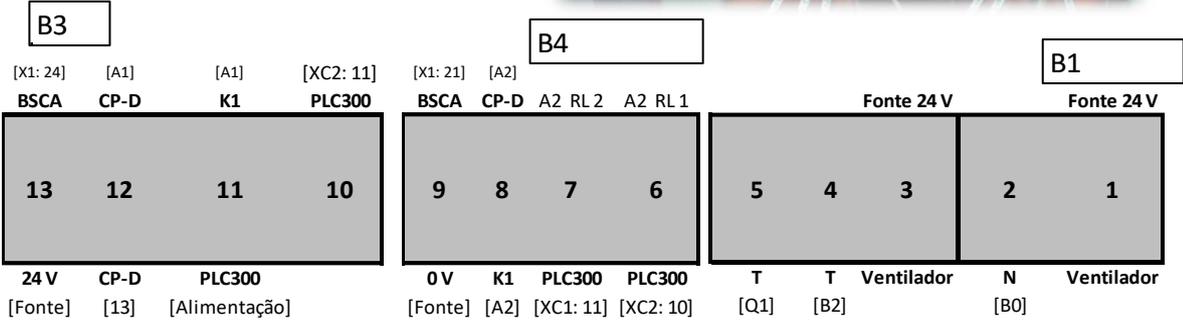


Tag	Group	Datatype	Comment
CHAVE2	GLOBAL	BOOL	Variável que indica que o torquímetro é do tipo II.
DI2	GLOBAL_IO	BOOL	Entrada digital 2 - Chave 2

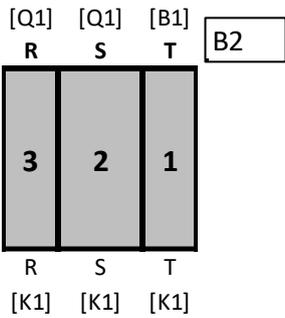
APÊNDICE D – IDENTIFICAÇÃO DOS BORNES



Borneira 2



Borneira 3



PLC300

			XC1
[IHMBKP: D]	Pot -	-	14
[IHMBKP: E]	Pot +	-	13
			12
[X2: 7]	0 V	-	11
			10
			9
			8
			7
			6
[X1: 12]	Botão	-	5
[IHMBKP: F]	Baixo	-	4
[IHMBKP: G]	Cima	-	3
[IHMBKP: J]	Chave 2	-	2
[IHMBKP: I]	Chave 1	-	1

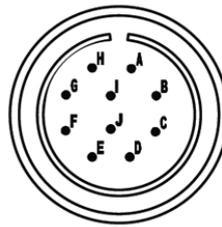
PLC300

			XC2
			14
			13
			12
[X2: 11]	24 V	-	11
[X2: 7]	0 V	-	10
			9
			8
			7
			6
			5
			4
			3
	A1 RL 2	-	2
	A1 RL 1	-	1

SCA06

			XC1
			1
			2
			3
[X1: 28]	FC1	-	4
[X1: 20]	0 V	-	5
[X1: 27]	FC2	-	6
[X1: 20]	0 V	-	7
[X1: 26]	AI+	-	8
[X1: 25]	AI-	-	9

IHM - Backup



Pino	Função
A	24 V
B	Botão
C	Botão
D	Pot 1
E	Pot 2
F	Baixo
G	Cima
H	0 V
I	Chave 1
J	Chave 2

