

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIENCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM MECATRÔNICA**

ELDER PESCADOR

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEDIÇÃO DO
PESO DE BLOCOS DE CONCRETO EM TEMPO DE PRODUÇÃO**

FLORIANÓPOLIS, SC

2016

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MECATRÔNICA**

ELDER PESCADOR

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEDIÇÃO DO
PESO DE BLOCOS DE CONCRETO EM TEMPO DE PRODUÇÃO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Mecatrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, para a obtenção do Grau de Mestre em Mecatrônica.

Orientador:

Prof. Roberto Alexandre Dias, Dr. Eng.

FLORIANÓPOLIS, SC

2016

CDD 620.139
P473d

Pescador, Elder

Desenvolvimento de um sistema automatizado para medição do peso de blocos de concreto em tempo de produção [DIS] / Elder Pescador; orientação de Roberto Alexandre Dias – Florianópolis, 2016.

1 v. : il.

Dissertação (Mestrado Profissional em Mecatrônica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Inclui referências.

1. Sistema automatizado. 2. Blocos de concreto. 3. Qualidade – Produção. 4. Medição do peso. 5. Matéria prima – Reaproveitamento. I. Dias, Roberto Alexandre. II. Título.

Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC

Biblioteca Dr. Hercílio Luz – Campus Florianópolis

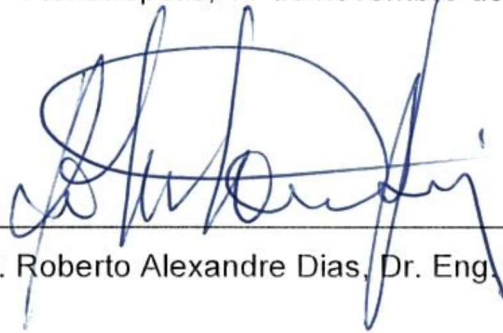
Catalogado por: Edinei Antonio Moreno CRB 14/1065

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEDIÇÃO DO
PESO DE BLOCOS DE CONCRETO EM TEMPO DE PRODUÇÃO**

ELDER PESCADOR

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção de Mestre em Mecatrônica, e
aprovado em sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Florianópolis, 11 de novembro de 2016.



Prof. Roberto Alexandre Dias, Dr. Eng. - Orientador



Prof. Alexandre Lima de Oliveira, Dr. Eng. – Titular



Prof. Aurélio da Costa Sabino Netto, Dr. Eng. - Titular



Prof. André Roberto de Souza, Dr. Eng. - Titular

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, porque sem ele nada conseguiria.

Aos meus pais, por sempre incentivaram a continuidade dos estudos.

À minha família por apoiar e compreender os momentos que não estive presente.

Em especial ao professor Daniel pelos incentivos, conselhos e apoio em diversas etapas dessa jornada.

Ao Tiago, por acreditar e disponibilizar as instalações de sua empresa para o desenvolvimento da pesquisa.

Aos amigos e colegas de trabalho pelo companheirismo, amizade e disposição em auxiliar.

Ao professor orientador Roberto, sou muito grato, por acreditar e contribuir para a realização desse trabalho.

Aos professores Alexandre e André por estarem sempre dispostos a sanar dúvidas e oferecer valiosos conselhos.

Aos técnicos e bolsista do laboratório de engenharia civil, pela receptividade e auxílio na execução de ensaios.

Agradeço a todos que de alguma forma colaboram para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

O crescimento no setor da construção civil nos últimos anos propiciou o surgimento de pequenas indústrias de artefatos de cimento. Para estas indústrias se manterem competitivas no mercado existe a necessidade de adequar seus produtos às normas vigentes. O presente trabalho mostra uma alternativa ao monitoramento da qualidade na produção de blocos de concreto para pavimentação. Um dos parâmetros para controle das características dos blocos é a medição do peso, que pode ser relacionada com a “resistência à compressão”, que é o principal quesito na classificação de blocos de concreto para pavimentação. O desenvolvimento de um sistema automatizado de medição de peso do bloco de concreto em tempo de produção vem ao encontro da necessidade de fornecer informações relevantes para uma avaliação prévia dos blocos recém-prensados, promovendo, assim, a oportunidade de um reaproveitamento da matéria prima e produção de produtos com melhor qualidade.

Palavras chave: Qualidade. Blocos de concreto. Peso. Medição. Sistema automatizado.

ABSTRACT

The construction sector boom in recent years led to the emergence of small cement artifacts industries. So that these industries can remain competitive in the market standards they have the need to adapt their products to local regulations. This work presents an alternative for monitoring the quality in the production of concrete block paving. One of the parameters to control the characteristics of the blocks is the measurement of weight, which can be related to "compressive strength", the main quality parameter the concrete blocks for paving classification. The development of an automated weight measurement of the concrete block system production time meets the need to provide relevant information to a prior assessment of the newly pressed blocks, thus promoting the opportunity for reuse of raw material and production of products with best quality.

Keywords: Quality. Concrete blocks. Weight. Measurement. Automated system.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Resistência à compressão em função da relação água/cimento	18
FIGURA 2 - Exemplos de peças do Tipo I.....	21
FIGURA 3 - Imagem de peças do tipo I.....	21
FIGURA 4 - Exemplos de peças do Tipo II.....	22
FIGURA 5 - Exemplos de peças do Tipo III.....	22
FIGURA 6 - Exemplos de peças do Tipo IV.....	22
FIGURA 7- Fluxograma da produção PCP vibro prensado	25
FIGURA 8 - Croqui fábrica de PCP genérico.....	25
FIGURA 9 - Baias de agregados	26
FIGURA 10 - Silo de agregados para proporcionamento por peso	28
FIGURA 11 - Silo de agregados	28
FIGURA 12 - Misturador vertical.....	29
FIGURA 13 - Partes de uma vibro-prensa	31
FIGURA 14 - A gaveta em corte longitudinal	31
FIGURA 15 - Silo e gaveta em corte longitudinal	32
FIGURA 16 - Detalhe compartimento do concreto	32
FIGURA 17 - Detalhe dos raspadores	33
FIGURA 18 - Sapatas com aquecimento.....	34
FIGURA 19 - Sistema de compressão.....	34
FIGURA 20 - Fôrma PCPs.....	35
FIGURA 21 - Câmara de cura térmica.....	36
FIGURA 22 - Extensômetros	40
FIGURA 23- Diagrama da Ponte de Wheatstone	40
FIGURA 26 - Single Point.....	42
FIGURA 27 - Shear Beam	42
FIGURA 28 - Tipo “S”	42
FIGURA 29 - Canister.....	43
FIGURA 30 - Anel de torção	43
FIGURA 31 – Diagrama caixa de junção.....	45
FIGURA 32–Compensação de excitação	45

FIGURA 33 - Circuito integrado INA125	46
FIGURA 34 - Ciclo de funcionamento do CLP	48
FIGURA 35 – Exemplos de tela de supervisorio.....	52
FIGURA 36 - Sistema básico de medição	55
FIGURA 37 – Fluxograma do sistema de medição.....	56
FIGURA 38 – Algoritmo do sistema de medição	57
FIGURA 39 – Gráfico da relação peso / sinal analógico ent.....	60
FIGURA 40 - Gráfico da relação peso / sinal analógico saída.....	60
FIGURA 41 – Resultado da resistência à compressão das amostras	62
FIGURA 42 - Célula de medição de entrada	63
FIGURA 43 - Célula de medição de saída.....	64
FIGURA 44 - Distribuição das células de carga.....	64
FIGURA 45 - Sentido da força nas células de carga	65
FIGURA 46 - Linha de produção	66
FIGURA 47 – Diagrama do painel elétrico.....	67
FIGURA 48 – Diagrama de interligação das células de carga.....	68
FIGURA 50 – Diagrama do amplificador de sinal	70
FIGURA 51 - Imagem osciloscópio.....	71
FIGURA 52 – Analise do comportamento de variáveis pelo software de programação do CLP	72
FIGURA 53 – Configuração do “ <i>data source</i> ”	73
FIGURA 54 – Configuração dos “ <i>data points</i> ”	74
FIGURA 55 – Tela principal de interação com o usuário.....	75
FIGURA 56 – Gráfico da incerteza / Tempo de resposta do sistema	81
FIGURA 57 – Interface do usuário no supervisorio	82
FIGURA 58 – Relatório da variável “Total_pallet”	83
FIGURA 59 - Relatório da variável “Pallet_bom”	83
FIGURA 60 – Relatório da variável “Pallet_ruim”	84
FIGURA 61 – Relatório da variável “Maior_peso”	84
FIGURA 62 – Relatório da variável “Menor_peso”	85
FIGURA 63 – Relatório da variável “Peso_liquido”	85

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
1.2	Estrutura da Dissertação	14
1.3	Justificativa	15
2	TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO (PCP)	16
2.1	Produção de Peças de Concreto Para Pavimentação.....	16
2.2	Matéria Prima	18
2.2.1	Cimento.....	18
2.2.2	Água.....	19
2.2.3	Agregados.....	19
2.2.4	Aditivos.....	20
2.3	Classificação	20
2.4	Processo Produtivo	24
2.4.1	Armazenagem dos agregados	26
2.4.2	Dosagem dos Materiais.....	27
2.4.3	Mistura	28
2.4.4	Vibro-prensagem.....	29
2.4.5	Cura	36
2.5	Controle de Qualidade e Parâmetros (Parâmetros de Qualidade)	36
2.5.1	Parâmetros de qualidade das PCPs	37
2.5.2	Parâmetros de qualidade na produção das PCPs	37
3	SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE PESO EM LINHA DE PRODUÇÃO	39
3.1	Célula de carga	39
3.2	Tipos de célula de carga	41
3.3	Caixa de junção.....	44
3.4	Condicionamento de sinal	45

3.5	Controlador Lógico Programável (CLP).....	47
3.5.1	Arquitetura de um CLP.....	47
3.5.2	Funcionamento de um CLP.....	48
3.5.3	Modelos de CLP.....	49
3.6	Supervisórios.....	50
3.6.1	Supervisor ScadaBR.....	51
3.7	Protocolos de Comunicação.....	52
3.7.1	MODBUS.....	53
3.7.2	MODBUS/TCP.....	54
4	SISTEMA DE MEDIÇÃO.....	55
4.1	Algoritmo do software de medição do CLP.....	56
4.2	Conversão de grandezas.....	58
4.2.1	Valor de uma divisão de escala.....	61
4.3	Projeto do sistema mecânico.....	62
4.4	Diagrama de circuitos do sistema eletrônico.....	66
4.5	Amplificador de sinal.....	68
4.5.1	Ruídos.....	71
4.6	Ferramenta de supervisão.....	73
5	RESULTADOS.....	77
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	87
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
	APÊNDICE A: PROGRAMAÇÃO EM <i>LADDER</i> DO CLP PLC-300 WEG.....	95
	APÊNDICE B: RESULTADO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DAS AMOSTRAS.....	105
	APÊNDICE C: ESTRUTURA MECÂNICA DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DE PESO.....	107
	APÊNDICE D: IMAGENS DA ESTRUTURA MECÂNICA.....	109
	APÊNDICE E: ESTRUTURA MECÂNICA DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DE PESO COM ROLETES.....	111
	APÊNDICE F: IMAGENS DO PAINEL ELÉTRICO.....	112
	APÊNDICE G: TABELA DOS ENSAIOS DE REPETIÇÕES.....	113

1 INTRODUÇÃO

O bloco de concreto para pavimentação, também chamado *paver*, tem origem histórica na pavimentação com pedras talhadas. O primeiro indício de peças pré-fabricadas no uso da pavimentação datam do período antes de Cristo (A.C).

Essas peças surgiram com o objetivo de melhorar o rolamento do pavimento que antes era contruído com pedras em estado natural. No século XIX, o desenvolvimento da urbanização e o surgimento do automóvel tornaram inviável a utilização de pedras talhadas e a alternativa possível era usar a argila cozida na fabricação das peças.

As primeiras peças pré-moldadas em concreto surgiram na segunda Guerra Mundial, com o advento do cimento. Estas peças demonstraram ser mais duráveis que a argila para os fins de pavimentação. O desenvolvimento das máquinas vibroprensas permitiu a fabricação em larga escala dessas peças e favoreceu a sua difusão.

No Brasil, os blocos de concreto para pavimentação foram utilizados a partir da década de 70 (MARCHIONI, 2012, p. 26). Segundo a Associação Brasileira de Fabricantes de Blocos de Concreto (BlocoBrasil) existiam, no final de 2012, no país, um mil e trezentos (1300) fabricantes de blocos de concretos. Destes fabricantes, apenas cento e cinquenta (150) possuíam o selo de qualidade da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Das empresas que possuíam o selo de qualidade, onze (11) eram do estado de Santa Catarina (SANTOS, 2015).

Segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Produtos de Cimento (SINAPROCIM, 2012), a indústria nacional de produtos de cimento fechou o ano de 2012 com um faturamento de R\$9,414 bilhões. As indústrias que trabalham somente com blocos de concreto tiveram um faturamento de R\$1,447 bilhão.

A Associação Brasileira de Fabricantes de Blocos de Concreto indicou em pesquisa realizada no mês de novembro de 2014, que, apesar do crescimento do mercado nos últimos anos, não haveria crescimento no ramo para o ano de 2015. Os dois principais segmentos responsáveis pela manutenção e o crescimento do setor foram o mercado imobiliário, com 47,91%, e o programa Minha Casa, Minha Vida do Governo Federal, com 33,33%.

No entanto, mesmo diante deste cenário de recessão no mercado, os associados da BlocoBrasil pretendem investir 16,32% em treinamento e automatização das empresas, e mais 10,41% em compras de novos equipamentos. Essas medidas visam aumento no faturamento, a melhoria da qualidade e a redução de produtos com problemas (ROCHA, 2015, p. 1).

Dentre os problemas que requerem atenção no processo de fabricação está a resistência à compressão. Esse parâmetro só pode ser observado após um período de cura do concreto. Oliveira (2004) comenta que na fase de implantação de fábricas de blocos de concreto para pavimentação, as informações relacionadas à resistência à compressão só poderão ser quantificadas após vinte e oito (28) dias de sua fabricação. Uma máquina moderna pode atingir uma produção diária de 20.000 a 30.000 peças. Neste sentido, se considerar que esta máquina trabalhou neste período sem ter a certeza das dosagens corretas dos materiais, ao final dos 28 dias, teriam sido produzidas aproximadamente 700.000 peças, sem a garantia de que o produto atingiria os valores estabelecidos na norma NBR 9781 (2013).

Se os valores estiverem abaixo do estabelecidos por esta norma, comprometem a qualidade das peças e, se estiverem muito acima, tornam o proporcionamento dos insumos economicamente inviável. As fábricas que já estão em funcionamento também sofrem com esse tipo de ocorrência, devido à troca de fornecedores e novos estudos de dosagem. Esses fatores podem ocasionar atraso na produção e alterações significativas na resistência do produto acabado. Desta maneira, percebe-se que a inspeção dos blocos conforme a norma é eficiente para a obtenção dos valores de resistência à compressão, no entanto, essa inspeção é tardia no que se refere a perdas na produção.

No cenário competitivo no qual as indústrias estão inseridas, um item muito importante é a lucratividade e relacionado a este fator se tem a eliminação de perdas durante o processo de fabricação. Garvin (1992, apud ABREU, 2002, p. 12) diz que a “qualidade é medida pela relação entre as unidades produzidas com defeito em relação ao total produzido”. Neste contexto, a automação permite que um parâmetro no processo de produção, como o peso, por exemplo, possa ser inspecionado em tempo real de produção, identificando variações nas peças a ponto de ter um melhor aproveitamento da matéria-prima, no processo e na qualidade do produto.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um protótipo funcional de um sistema automatizado para medição do peso de blocos de concreto em tempo de produção.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar o processo de produção de blocos de concreto;
- Identificar os sensores de peso para aplicar no protótipo (células de carga);
- Projetar e construir, um protótipo de célula de medição de peso de blocos de concreto junto ao processo produtivo;
- Desenvolver um sistema supervisório para acompanhamento do processo de pesagem de blocos de concreto.

1.2 Estrutura da Dissertação

Este trabalho está estruturado da seguinte forma:

No capítulo 1 apresentou-se a introdução e os objetivos.

No capítulo 2 destaca-se os fundamentos teóricos, mais especificamente, trata sobre as peças de concreto para pavimentação, sobre as linhas de produção e sobre os parâmetros de classificação.

No capítulo 3 aborda-se os equipamentos e tecnologias envolvidas no desenvolvimento do trabalho.

No capítulo 4 demonstra-se o desenvolvimento do modelo conceitual proposto, o diagrama de blocos, o algoritmo e os circuitos.

No capítulo 5 apresenta-se a análise e a discussão dos resultados a partir da visão metrológica.

No capítulo final segue as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

1.3 Justificativa

Como a qualidade é um item importante no processo produtivo de blocos de concreto para pavimentação, esta qualidade pode ser obtida por meio de instrumentos que possam auxiliar no controle de qualidade do produto durante o processo produtivo. A interdependência desses fatores justifica o desenvolvimento, nesta pesquisa, de um sistema automatizado para medição de peso de bloco de concreto em tempo de produção.

Conforme destacado, as soluções para o acompanhamento do processo produtivo em tempo de produção são poucas ou até mesmo tardias do ponto de vista de reaproveitamento da matéria prima. Do ponto de vista econômico, pode-se evitar dias de produção de produtos com baixa qualidade, bem como, evitar o prejuízo para o cliente e para a empresa. Além de evitar que manche a imagem da empresa no mercado.

Como visto anteriormente, a avaliação do produto só pode ser realizada 28 dias após sua fabricação em ensaios destrutivos, e dependendo das máquinas utilizadas, pode haver uma produção de até 700.000 peças sem ter a informação de que o produto atenda aos níveis mínimos pretendidos estabelecidos em norma.

Neste sentido, ao término deste trabalho, pretende-se mostrar a viabilidade de se aplicar um sistema automatizado de medição de peso, para que possa auxiliar no controle de qualidade, tendo em vista as exigências crescentes que o mercado vem apresentando.

2 TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO (PCP)

Esse capítulo aborda a produção das PCPs mostrando as etapas do processo produtivo que influenciam diretamente na qualidade do produto final. A apresentação destas etapas é necessária para se ter o conhecimento da sequência do processo e, com isso, propor melhoria no processo produtivo.

2.1 Produção de Peças de Concreto Para Pavimentação

A produção de blocos para pavimentação com o concreto na sua formulação teve sua origem histórica após a Segunda Guerra Mundial, no período de reconstrução dos países atingidos. A evolução de modelos e formas para fabricação de blocos de concreto ocorreu após 1950. Os pavimentos utilizados na época tinham o formato de tijolos e peças aparelhadas e seus únicos benefícios eram baixo custo e a regularidade dimensional (CORRÊA, 2013, p. 39).

Em 1960, surgiram as máquinas com ciclo automático de elevada capacidade produtiva. Nesta época, os blocos conquistaram um nicho de mercado forte na Europa e haviam pouco mais de cinco fabricantes de equipamentos. Com tecnologia e mercado amadurecido na Europa, espalhou-se posteriormente ao redor do mundo (PAGE, 1998 apud CORRÊA, 2013).

O início da fabricação de peças pré-moldadas no Brasil se deu de maneira artesanal, por indústrias de pequeno porte e capacidade produtiva baixa. Dessa maneira, os registros do início da fabricação de blocos no país são imprecisos. No final de 1960, teve-se registros das primeiras fábricas de blocos pré-moldados por equipamentos de vibro-compressão, considerado, dessa forma, o início dos anos 70 como referência do começo da utilização de blocos para pavimentação no Brasil (RODRIGUES, 1986 apud OLIVEIRA, 2004).

Os concretos que possuem o cimento *Portland*¹ como aglomerante, possuem várias aplicações e finalidades. Cita-se, dentre eles: os concretos plásticos e os

¹Cimento hidráulico fabricado pela calcinação de uma mistura artificial de argila e cré.

concretos “secos”. Para exemplificar concretos plásticos, tem-se o graute², concreto armado muito utilizados em obras, etc. O concreto “seco”, por sua vez, emprega-se na produção de peças de concreto para pavimentação (PCP), blocos de alvenaria estrutural, concreto compactado a rolo, tubos, entre outros. Diversas diferenças estão presentes na distinção desses dois grupos: a maneira como o ar aprisionado na mistura é removido, a trabalhabilidade, o abatimento, a granulometria final, a relação água/materiais secos, os processos de produção, entre outras (PIROLA, 2011, p. 35).

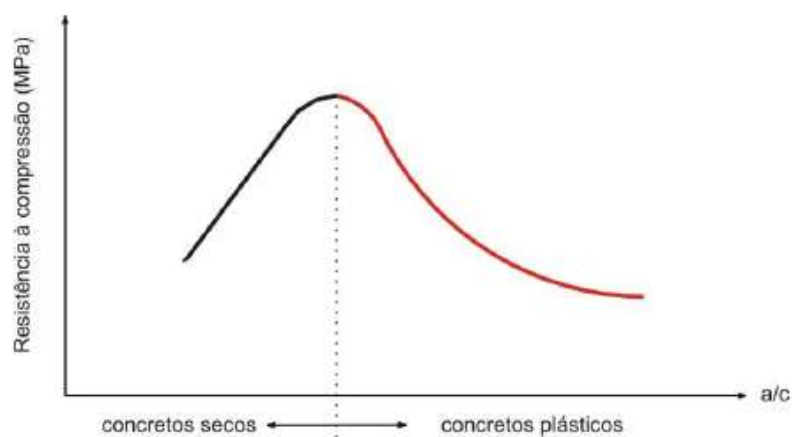
Segundo Marchandet al. (1996, apud OLIVEIRA 2004, p.10), o concreto seco pode ser definido como um concreto que possui significativamente consistência superior aos concretos comumente usados (concretos plásticos), devido ao emprego de quantidade menor de água, geralmente, pela necessidade de desforma imediata. Característica esta que o torna um concreto levemente umedecido, que pode atender também como concreto de *slump-zero* ou concreto com consistência de terra úmida, sendo necessária a utilização de equipamentos especiais para compactação (JUVAS, 1993 apud OLIVEIRA 2004, p.10). Em se tratando das PCP, utiliza-se equipamentos capazes de vibrar e comprimir ao mesmo tempo (equipamentos conhecidos como vibro-prensas), com o intuito de atribuir às misturas altas compacidades (OLIVEIRA, 2004, p.10).

Em geral, o concreto “seco” não segue à risca a “Lei de Abrans³”, que representa muito bem o concreto de consistência plástica, dado que reduções na relação água/cimento não contribuem para o aumento da resistência à compressão (figura 1). Considerando que este concreto tem um teor de água baixo, a relação água/cimento demonstra não ser o fator determinante da presença de porosidade nas peças, visto que, quantidades de água maiores melhoram, de modo significativo, a trabalhabilidade da mistura, reduzindo o atrito interno entre os grãos e proporcionando uma melhor compactabilidade da mistura. Isto é, mantendo um traço fixo, a mesma energia de compactação, aumentando-se a quantidade de água da mistura, obtém-se uma redução na porosidade total, tendo assim, um aumento da resistência à compressão (OLIVEIRA, 2004, p.10).

² Entende-se como graute o concreto com agregados finos, alta fluidez e baixa retração.

³ A Lei de Abrans defende que a resistência do concreto é determinada essencialmente pela relação água/cimento.

FIGURA 1 - Resistência à compressão em função da relação água/cimento



Fonte: (OLIVEIRA, 2004)

No entendimento de Tango (1994, apud CORRÊA, 2013), a quantidade de água na mistura deve ser a maior possível, o suficiente para que os blocos não se desmanchem, e não tão grande que dificulte a desforma por aderência nos moldes, ou desconfiguração do seu formato. Em decorrência disto, o equipamento (vibro-prensa) utilizado é de grande importância na qualidade final dos blocos produzidos.

Corrêa (2013) destaca que a umidade assume uma importância primordial para a produção dos concretos secos utilizados na produção de blocos para pavimentação. Comenta, ainda, que a umidade fica em torno de 6% a 8%, sendo em função dos materiais empregados e do tipo de equipamento.

2.2 Matéria Prima

Os componentes que constituem o concreto seco para a produção das peças de concreto para pavimentação (PCP) são os mesmos do concreto convencional: cimento, água e agregados, entretanto, tem como diferencial o teor de umidade em sua mistura (MARCHIONI, 2012, p. 31), podendo ou não conter aditivos e pigmentos.

2.2.1 Cimento

A norma NBR 9781 (ABNT, 2013) detalha alguns requisitos mínimos que as PCP devem atender. Nela, consta que pode ser qualquer tipo de cimento, desde

que obedeça suas respectivas normas. Entretanto, atualmente a indústria cimenteira vem produzindo e comercializando basicamente três tipos de cimento: o de alta resistência inicial resistente a sulfato, o pozolânico e o composto com pozolana (OLIVEIRA, 2004, p.20).

De um modo geral, as indústrias de pré-moldados utilizam os cimentos de alta resistência inicial (CP V – ARI e CP V-ARI-RS), como sugere o nome, os mesmos alcançam elevados níveis de resistência mecânica nas primeiras idades, assim é o mais aconselhado para esses fins.

Para Bergerhof (1981, apud OLIVEIRA, 2004, p. 21), é recomendável que a quantidade de cimento, para produção das PCP, esteja entre 250 e 300 Kg/m³ de concreto. Entretanto, OLIVEIRA (2004) destaca que a determinação dessa quantidade está intimamente ligada ao tipo do equipamento empregado e seus ajustes, tornando-se complexo relacionar uma quantidade de cimento por metro cúbico de concreto em função da resistência.

2.2.2 Água

Responsável pela reação de hidratação do cimento, a água que irá compor o concreto possui grande influência na resistência do concreto seco. A água utilizada deve ser isenta de matérias orgânicas e teores excessivos de substâncias inorgânicas. Desta maneira, é aconselhado somente o uso de água potável, mesmo que exista a possibilidade de águas não potáveis não prejudicarem o concreto (NEVILLE, 1997 apud MARCHIONI, 2012, p. 32).

2.2.3 Agregados

Compreende-se como agregado: areia, pedregulho e pedras britadas oriundas de jazidas naturais. A sua participação na mistura do concreto seco ocupa entre 60% e 80% do volume, daí a importância de serem de boa qualidade. Da mesma forma que a água, os agregados devem ser isentos de matéria orgânica. Portanto, os agregados possuem uma norma para classificá-los, a NBR 7211 (2005), que fornece uma série de características acerca dos mesmos (MARCHIONI, 2012, p. 32).

Contudo as características dos agregados podem comprometer sua aderência com a pasta do cimento, podendo alterar a uniformidade e a resistência do concreto. Destaca-se, ainda, que as resistências mecânicas dos materiais influenciam diretamente na resistência mecânica das peças, em decorrência dos mesmos ocuparem a maior parte do volume do concreto. Influenciam também no grau de compacidade das peças de acordo com a granulometria aplicada no traço (MEDEIROS, 1993, apud CORRÊA, 2013, p. 44).

2.2.4 Aditivos

Tem como definição, na NBR 11768 (2011, p. 2), “[...]produto adicionado durante o processo de preparação do concreto, em quantidade não maior que 5% da massa de material cimentício contida no concreto, com o objetivo de modificar propriedades do concreto [...]”.

Os aditivos têm o objetivo de melhorar algumas características pontuais das misturas de concreto. Há uma variedade de aditivos químicos à disposição, cada um com uma função específica, como: melhorar a plasticidade do concreto, retardar ou acelerar o tempo de pega, acelerar as taxas de resistência nas primeiras idades, etc. (METHA, MONTEIRO, 2008, apud MARCHIONI, 2012, p. 34)

Oliveira (2004) comenta que nem todos os aditivos podem ser utilizados na produção PCP, pois alguns deles precisam de uma quantidade mínima de água, por vezes muito superior às quantidades utilizadas em concreto seco. Segundo Rodrigues (1984, apud OLIVEIRA, 2004, p.23), os aditivos para fabricação de peças para pavimentação que podem interessar são os incorporadores de ar e pigmentos.

2.3 Classificação

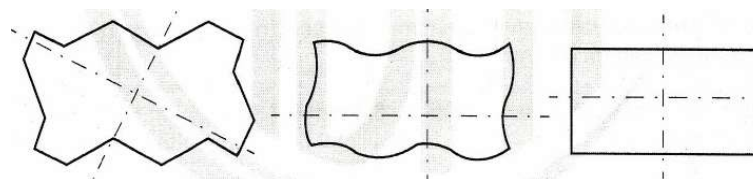
A forma de classificar as peças de concreto para pavimentação segue a norma NBR 9781:2013, que passou a vigorar a partir de 7 de fevereiro de 2013 em substituição das normas NBR9780 e NBR9781 de 1987 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987). Houve mudanças significativas quanto à melhoria das especificações de dimensões e formas, também foram inclusos o teste de

absorção da água e a resistência abrasão (este último é facultativo), não prejudicando o estudo do material para o desenvolvimento do trabalho até o momento.

A norma NBR 9781:2013, define as principais medidas para as dimensões das peças, como o comprimento máximo de 250 mm, uma largura mínima de 97 mm (medida real) e uma altura mínima de 60 mm. Contudo, a norma não restringe o formato, mas define quatro grupos nos quais deve ser inserido dependendo das características da PCP:

Tipo I: peças de concreto com formato retangular ou próximo disso, com relação entre comprimento e largura igual a dois. Podendo arranjar-se nos quatro lados e, ao ser assentada, pode assumir formato de fileiras ou espinha de peixe.

FIGURA 2 - Exemplos de peças do Tipo I



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013)

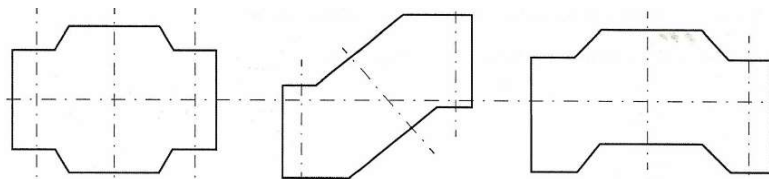
FIGURA 3 - Imagem de peças do tipo I



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2010)

Tipo II: com formato único, com característica que diferem do retangular, só poderão ser assentadas em fileiras.

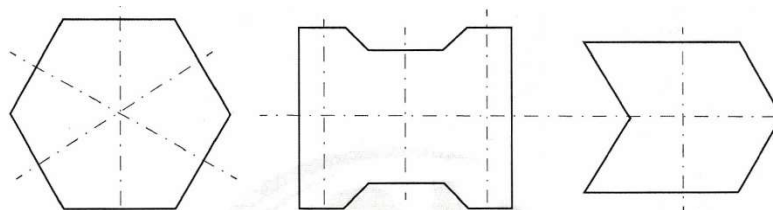
FIGURA 4 - Exemplos de peças do Tipo II



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013)

Tipo III: com peso maior que 4 Kg, podendo assumir formatos geométricos, como trapézios, hexágonos, triedros, etc.

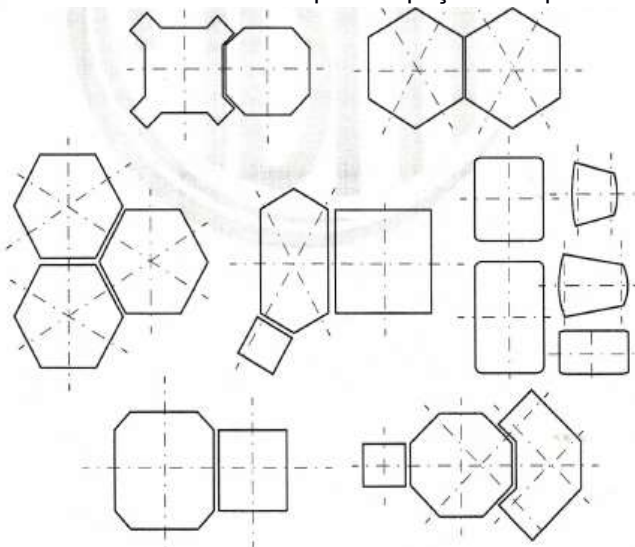
FIGURA 5 - Exemplos de peças do Tipo III



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013)

Tipo IV: conjunto de blocos de diferentes tamanhos, ou única peça possuindo junta falsa, podendo ser utilizada com um ou vários padrões de assentamento.

FIGURA 6 - Exemplos de peças do Tipo IV



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013)

Já para a altura das peças, a norma NBR 9781:2013 define uma altura mínima 60mm, podendo ter variações em múltiplos de 20 mm. No método do cálculo, para encontrar a Resistência à Compressão Característica prevista em norma, mostra em uma tabela (tabela 1) com um fator multiplicativo “**p**”, que deve ser utilizada no cálculo em função da altura do bloco, assim existem valores para três alturas: 60 mm, 80 mm e 100 mm (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). Essas alturas são encontradas comumente nos blocos comercializados no mercado.

Tabela 1 - Fator multiplicativo *p*

Espessura nominal da peça (mm)	<i>P</i>
60	0,95
80	1,00
100	1,05

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013)

Outro item importante no qual se pode classificar os blocos é quanto a sua Resistência à Compressão Característica, cuja norma NBR 9781:2013 exige que seja maior ou igual a 35 MPa para veículos comerciais de linha, e maior ou igual a 50 MPa para onde trafegam veículos especiais ou em lugares onde possam haver solicitações que produzam elevados níveis de abrasão.

Onde os valores de Resistência à Compressão Característica são obtidos pela seguinte equação:

Equação 1 - Resistência característica a compressão

$$f_{pk\ est} = f_p - t \times s$$

Fonte: Adaptado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013)

Sendo:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_p - f_{pi})^2}{n - 1}}$$

Onde:

f_p → Resistência média das peças em “MPa”.

f_{pi} → Resistência individual das peças em “MPa”.

$f_{pk,est}$ → Resistência característica estimada à compressão em “MPa”.

n → Número de peças da amostra.

s → Desvio padrão da amostra.

t → Coeficiente de *Student* para um nível de confiança de 80%.

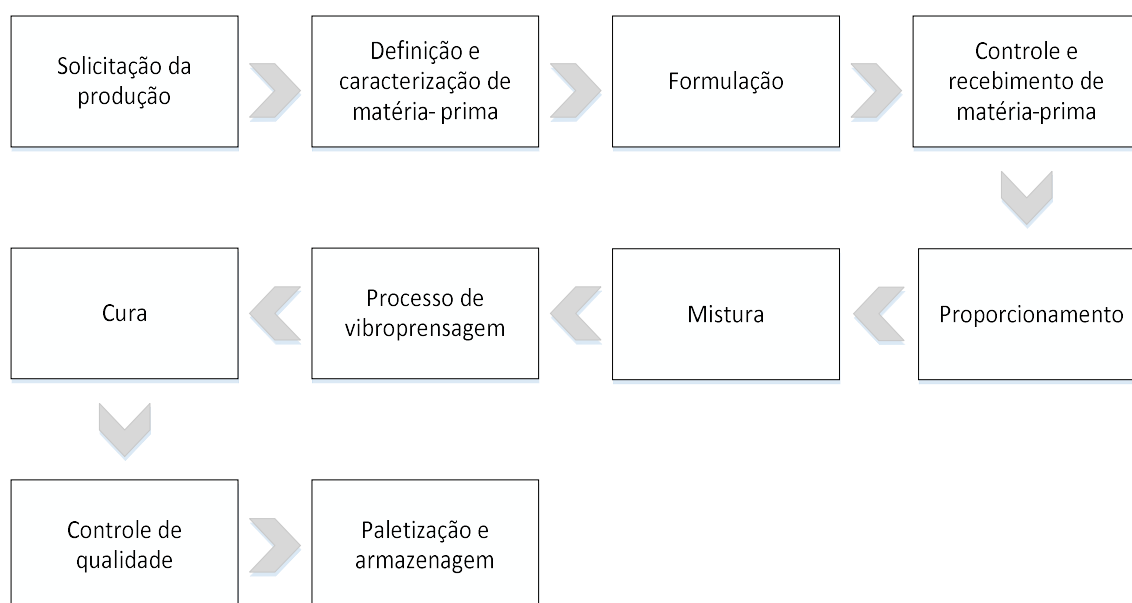
Ao observar a fórmula, nota-se que quanto menor for a variação dos valores de resistência a compressão individual das peças, melhor será o resultado de resistência característica à compressão. Com isso pode-se propor uma redução no consumo de cimento, melhorando o rendimento da produtividade sem perder a qualidade do produto.

2.4 Processo Produtivo

Para Pirola (2011), a viabilidade de produzir blocos de concreto com qualidade e economia requer bons equipamentos e controle no processo produtivo. Essas medidas visam atingir homogeneidade nas características do produto final, tais como, a resistência à compressão, a textura, as variações dimensionais, dentre outras.

Com base em observações em diversas fábricas de blocos para pavimentação, Marchioni (2012) descreve por meio de um fluxograma o processo de produção vibro prensado das PCP's, destacando cada etapa da produção.

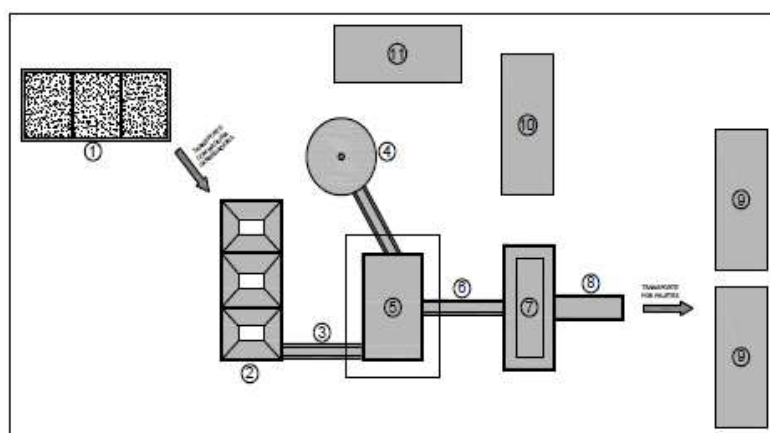
FIGURA 7- Fluxograma da produção PCP vibro prensado



Fonte: (MARCHIONI, 2012)

Para compreender melhor o processo produtivo da PCP's, um *croqui* com as disposições dos equipamentos da linha de produção é mostrado na figura abaixo:

FIGURA 8 - Croqui fábrica de PCP genérico



Fonte:(PIROLA, 2011)

1. Baías de agregados; 2. Silo/dosador de agregados; 3. Correia transportadora; 4. Silo de cimento; 5. Misturador; 6. Correia transportadora; 7.

Máquina vibro-prensa; 8. Transportador de chapas (pallet's); 9. Câmaras de cura; 10. Paletização; 11. Laboratório.

Assim como fizeram Pirola (2011, p.38) e Corrêa (2013, p.48) em seus trabalhos, destacam-se as principais etapas do processo, que serão descritas a seguir: armazenagem dos agregados, dosagem dos materiais, mistura, vibro-prensagem, cura.

2.4.1 Armazenagem dos agregados

A estocagem da matéria deve ser feita de maneira que as mesmas não se misturem, normalmente os materiais são separados por baias, evitando assim a contaminação entre eles (figura 9). A variação brusca de umidade nos agregados deve ser evitada, assim o material deve ficar abrigado, protegido da chuva (CORRÊA, 2013, p. 48).

FIGURA 9 - Baias de agregados



Fonte:(CORREA, 2013)

Já o cimento pode ser armazenado de duas formas: a granel ou em sacos. A granel o cimento é acondicionado em silos, utilizados geralmente por sistemas automatizados e empresas que demandam um grande consumo.

2.4.2 Dosagem dos Materiais

O concreto “seco”, em sua dosagem, tem como objetivo conseguir uma mistura que lhe proporcione o menor número de vazios possível, visando conseguir maior quantidade de material em um mesmo volume. O intuito de conseguir essas condições de mistura se dá por existir uma relação direta entre a compactidade do concreto e sua resistência à compressão. Neste sentido, uma boa dosagem deve levar em conta alguns parâmetros, dentre eles, a melhor composição granulométrica para a mistura dos agregados, a melhor quantidade de água a ser empregada, a quantidade ideal de cimento (o mesmo pode variar em função da resistência desejada e o tipo do cimento) (PIROLA, 2011, p. 39).

Definida a quantidade de cada componente da mistura, passa-se, então, ao proporcionamento. Sugere-se, para tal, que os agregados e cimento sejam controlados pelas suas massas por meio de balanças. Um dos motivos pelos quais deve-se evitar a dosagem somente pelo volume é que a areia incha com a umidade induzindo erros nas medições. Contudo, com a dosagem dos agregados por peso, pode-se ter um melhor controle do processo, obtendo uma qualidade maior do concreto e melhor homogeneidade das peças produzidas. A adição da água deve-se dar por dispositivos que controlem a umidade da mistura, para tanto, utiliza-se de sensores acoplados nos misturadores. A importância do controle da umidade no concreto deve-se ao fato dela influenciar diretamente na trabalhabilidade da massa, na resistência à compressão, na desforma das peças, dentre outros fatores (FRASSON, 2000, apud PIROLA, 2011, p. 40). Na figura 10, mostra-se um silo de agregados que dosa os materiais por peso. Na sequência, a outra imagem (figura 11) apresenta um silo de agregados que faz a dosagem por volume (tempo). Na visão de Frasson este método não tão é preciso quanto o método do primeiro silo.

FIGURA 10 - Silo de agregados para proporcionalamento por peso



Fonte: (PIROLA, 2011)

A figura a seguir mostra silo de agregados com dosagem por tempo.

FIGURA 11 - Silo de agregados



Fonte: Próprio autor

2.4.3 Mistura

Depois da definição da quantidade de cada componente da mistura e o seu proporcionalamento, parte-se para a mistura dos mesmos até a obtenção de uma excelente homogeneização. Em se tratando do concreto seco, essa mistura deve ficar com o aspecto de “farofa” e, para que isto ocorra, deve-se ter um misturador com boa eficiência. Para este processo de mistura, existem alguns tipos de misturadores: os

planetários, os horizontais com eixo helicoidal, os verticais, os horizontais de pás, e os de eixo inclinado (MARCHIONI, 2012, p. 49).

Fernandes (2008, apud MARCHIONI, 2012, p.41) comenta que os misturadores planetários são os mais eficientes para misturar, acompanhado pelos misturadores horizontais de eixo helicoidal, que são os mais indicados para a mistura com pigmentos. Para Medeiros (1998, apud MARCHIONI, 2012, p.41), o tempo da mistura depende do equipamento utilizado, assim como da sequência de colocação dos agregados. De um modo geral, primeiro são adicionados os agregados, em segundo lugar é adicionado o cimento, após mistura-se por um minuto esses materiais secos. Na sequência, adiciona-se a água e os pigmentos necessários e mistura-se de dois a quatro minutos.

De maneira alternativa do que propõe o *layout* de Pirola (2011), o armazenamento do cimento pode diferir dependendo do porte da fábrica, em silos ou em sacos de 50Kg. Como verifica-se na figura a seguir, o cimento está ao lado do misturador vertical à espera de ser utilizado.

FIGURA 12 - Misturador vertical



Fonte: Próprio autor

2.4.4 Vibro-prensagem

Depois das etapas de dosagens dos materiais e mistura, dá-se início ao processo vibro-prensagem, para dar forma à mistura (concreto seco), o que resultará nos blocos de concreto para pavimentação. Esse processo é assim denominado em

decorrência dos equipamentos de vibro compressão utilizados, que realizam, ao mesmo tempo, as ações de vibrar e comprimir (OLIVEIRA, 2004).

Esses equipamentos, também chamados de vibro-prensas, desenvolvem níveis elevados de compactação do concreto seco, intervindo consideravelmente nas características das peças. O funcionamento das vibro-prensas pode ser pneumático ou hidráulico, entretanto, as máquinas mais eficientes são as hidráulicas, que fazem uso de bomba e cilindros a óleo (CORREA, 2013, p. 51).

Para uma melhor compreensão do que é essa máquina, segue o entendimento de Oliveira (2004) na descrição das principais partes que constituem o equipamento de Vibro-compressão:

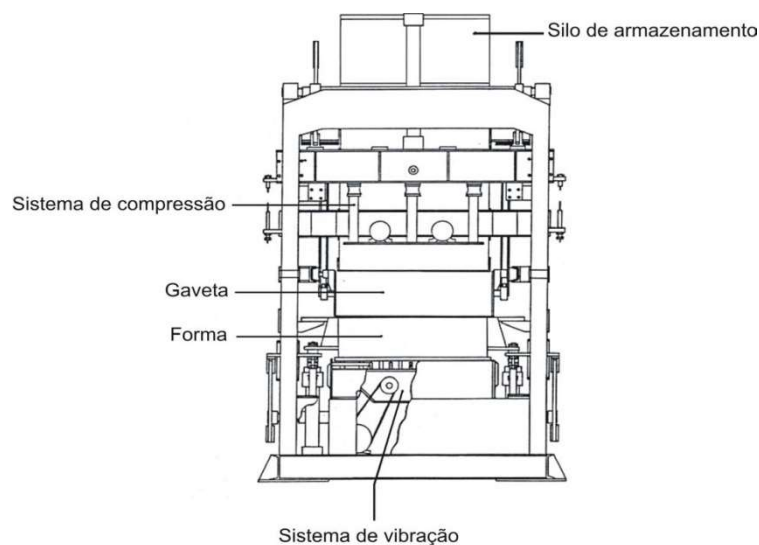
- Silo de armazenamento;
- Gaveta;
- Sistema de compressão;
- Forma;
- Sistema de vibração.

2.4.4.1 Silo de armazenamento

O silo de armazenamento é o reservatório localizado na parte superior da vibro-prensa, que tem a função de armazenar a batelada de concreto feita pelo misturador para, na sequência, encher a gaveta do equipamento. A quantidade de material que o silo pode armazenar varia conforme o fabricante. Cabe ressaltar que alguns fabricantes argumentam que silos de armazenamentos com volume grande, ao serem enchidos em sua totalidade, podem resultar em camadas com compactações diferentes. Diante desse fato, as quantidades diferentes do material na gaveta para o enchimento das formas variam conforme o silo começam a esvaziar-se (OLIVEIRA, 2004, p. 28).

Outro ponto a ser observado ao ter grandes reservatórios é a formação de grandes montes, o que possibilita o acúmulo de agregados graúdos nas laterais e uma concentração maior de agregados finos no meio do monte, causando um suprimento diferenciado da gaveta para as formas, como consequência, a produção de peças heterogêneas (PIROLA, 2011, p. 45).

FIGURA 13 - Partes de uma vibro-prensa

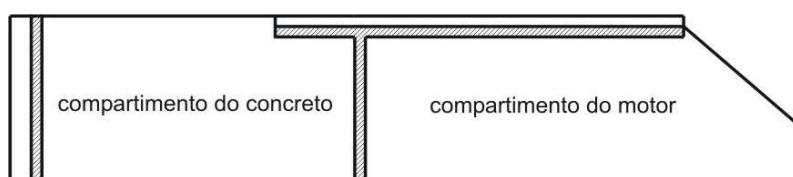


Fonte:(OLIVEIRA, 2004)

2.4.4.2 Gaveta

A gaveta é um compartimento móvel que tem a função de transportar o concreto do silo de armazenamento para a fôrma (figura14), sendo subdividida em dois sub compartimentos, um para o concreto e um para o motor (OLIVEIRA, 2004, p. 28).

FIGURA 14 - A gaveta em corte longitudinal

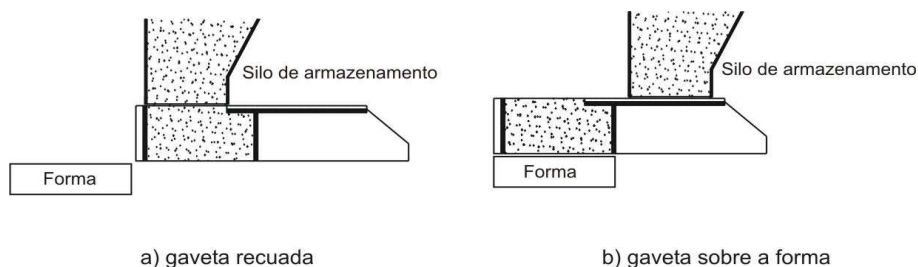


Fonte: (OLIVEIRA, 2004)

A movimentação da gaveta dá-se da seguinte forma: com a gaveta recuada, o compartimento do concreto fica embaixo do silo de armazenamento, acontecendo assim o enchimento do mesmo; quando acionada, a gaveta movimenta-se para cima da fôrma, alimentando as suas subdivisões. Nesse momento, a parte de baixo do silo

de armazenamento fica obstruído pelo compartimento do motor (OLIVEIRA, 2004, p. 29).

FIGURA 15 - Silo e gaveta em corte longitudinal

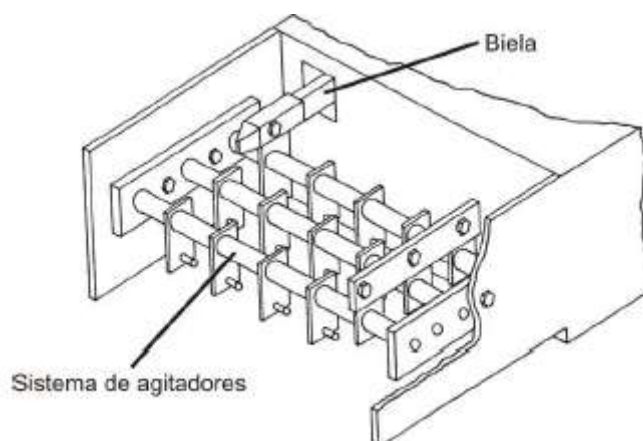


Fonte: (OLIVEIRA, 2004)

A gaveta possui outros componentes além dos dois compartimentos: o conjunto de agitadores, o raspador de fôrma e o raspador de sapata.

O conjunto de agitadores é constituído por barras metálicas localizado no compartimento do concreto da gaveta, com o intuito de revirar o material, facilitando assim o enchimento da fôrma. Com movimentos pendulares ou horizontais, os agitadores são acionados pelo motor que fica no outro compartimento, através de um sistema de biela-virabrequim (OLIVEIRA, 2004, p. 29).

FIGURA 16 - Detalhe compartimento do concreto

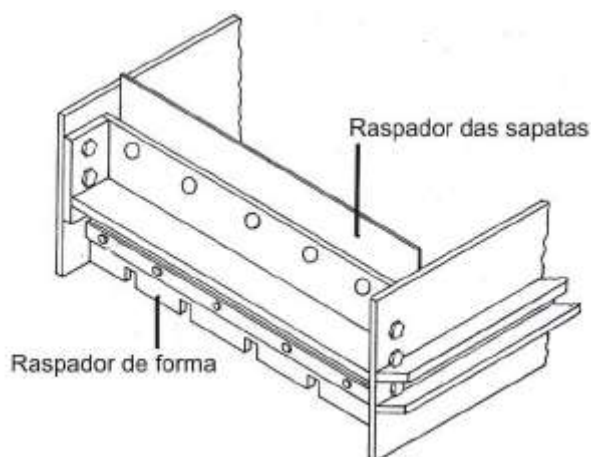


Fonte: (OLIVEIRA, 2004)

O raspador de fôrma consiste em uma placa de material plástico fixada na parte frontal inferior da gaveta, o mesmo tem a função de retirar o excesso de concreto

sobre a fôrma, no momento que a gaveta recua na posição inicial. Enquanto o raspador de sapatas consiste em uma placa de borracha fixada na parte frontal superior da gaveta, com a função de limpar as sapatas no momento que a gaveta recua na posição inicial.

FIGURA 17 - Detalhe dos raspadores



Fonte: (OLIVEIRA, 2004)

2.4.4.3 Sistema de compressão

O sistema de compressão é um sistema mecânico formado geralmente pelas sapatas, por viga flutuante e por um cilindro hidráulico ou pneumático. Esse mesmo sistema é responsável pelo emprego da carga de compressão no instante da conformação do concreto no interior das formas (OLIVEIRA, 2004, p. 31).

As sapatas que também podem ser designadas de contramolde, localizam-se na extremidade inferior do sistema de compressão, com a função de transferir a carga da viga flutuante, oriunda do cilindro hidráulico ou pneumático para o concreto, durante a etapa de vibro-prensagem dos blocos.

Quando as sapatas estão em contato direto com concreto, elas são as responsáveis pelo acabamento superficial das peças. Em máquinas mais modernas, as sapatas possuem um sistema de aquecimento com controle automático de temperatura, mantendo-as aquecidas à temperatura constante no decorrer do período de produção. O aquecimento das sapatas impede que as peças grudem nas mesmas, o que evita as paradas para limpeza durante a produção (OLIVEIRA, 2004, p. 31).

FIGURA 18 - Sapatas com aquecimento

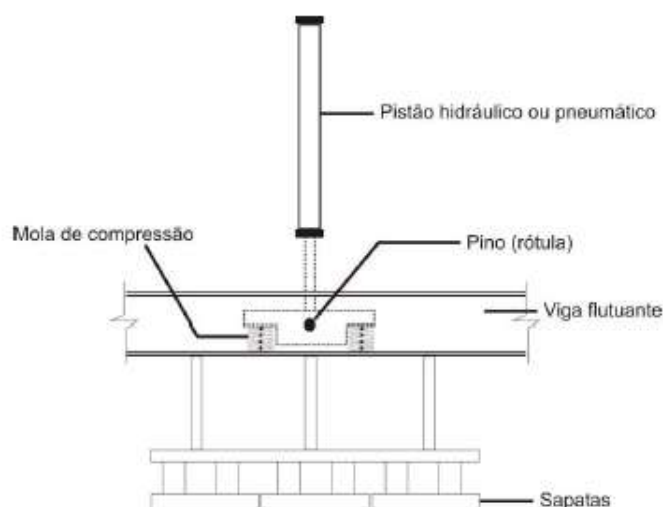


Fonte: (PIROLA, 2011)

A viga flutuante é uma parte mecânica do sistema de compressão, responsável por transferir a força do cilindro hidráulico ou pneumático para as sapatas. Trabalha no sentido vertical, movendo-se de cima para baixo, deslizando sobre duas guias, uma em cada lateral.

O Cilindro hidráulico ou pneumático tem a função de suspender a viga flutuante e as sapatas, como também a de aplicar uma força de compressão sobre o concreto em determinados equipamentos. Um aumento substancial de carregamento é obtido com esse método. Em equipamentos onde o cilindro trabalha aplicando carga, os níveis de pressão giram em torno de 2,0 a 3,0 kgf/cm² (OLIVEIRA, 2004).

FIGURA 19 - Sistema de compressão



Fonte: (OLIVEIRA, 2004)

2.4.4.4 Fôrma

A fôrma, que também pode ser chamada de molde, é uma peça metálica rígida que fornece ao concreto o formato e a precisão dimensional das PCPs. Sua substituição (assim como as sapatas) se faz necessária dependendo do modelo de peças que se quer produzir. Para que haja uma durabilidade maior dos moldes, a superfície interna sofre um tratamento térmico a fim de aumentar sua dureza superficial, devido aos contínuos atritos sofridos durante o processo de prensagem das peças (PIROLA, 2011, p. 49).

FIGURA 20 - Fôrma PCPs



Fonte: (PIROLA, 2011)

2.4.4.5 Sistema de vibração

Os sistemas mecânicos de vibração das vibro-prensas têm responsabilidade direta pela qualidade das peças moldadas. Fato este que esclarece o porquê de todos os equipamentos utilizarem a vibro-compressão como meio de adensamento do concreto, sendo o maior responsável pela compacidade das peças. No entanto, existem alguns parâmetros que influenciam melhores resultados como a velocidade, a direção, a frequência, a amplitude, a aceleração e a duração (CORRÊA, 2013, p. 56).

2.4.5 Cura

Compreende-se por cura as ações tomadas com o intuito de favorecer as condições de temperatura e umidade ideais para o desenvolvimento da resistência mecânica das PCPs, impedindo a evaporação prematura da água, que se faz necessária para a correta hidratação do cimento (CORRÊA, 2013, p. 59).

Existem algumas formas de cura, dentre as convencionais, pode-se citar a molha com mangueira, a aspersão d'água por sistemas de irrigação de jardim, o abrigo com lona plástica, a saturação da umidade por meio de bicos ou ventiladores com aspersores pressurizados e a cura térmica a vapor. Entretanto, a escolha do procedimento de cura está sujeita ao porte do fabricante (CORRÊA, 2013, p. 59).

FIGURA 21 - Câmara de cura térmica



Fonte: (CORRÊA, 2013)

2.5 Controle de Qualidade e Parâmetros (Parâmetros de Qualidade)

É fundamental ressaltar que o termo Controle de Qualidade pode apontar diferentes significados. Para algumas pessoas, o controle de qualidade pode ser considerado como o processo responsável pela garantia da qualidade, para outras

peessoas, apenas como etapa de análise de resultados de ensaios (DEWAR, 2004, apud CORRÊA, 2013, p. 75).

O desenvolvimento do controle de qualidade abrange técnicas e atividades operacionais, com o objetivo de monitorar um processo e eliminar as causas de um mau desempenho. Esse processo permite, assim, que uma empresa demonstre uma melhor atividade econômica (CORRÊA, 2013, p. 75). Por isso, observa-se parâmetros de qualidade de duas formas: parâmetros de qualidade das PCPs e parâmetros de qualidade na produção das PCPs.

2.5.1 Parâmetros de qualidade das PCPs

Os parâmetros de qualidade que norteiam a avaliação das peças é a norma NBR 9781(2013). Nesta normativa, são destacados vários itens para qualificar o produto final, dentre eles: as dimensões, as tolerâncias, o espaçador de juntas, os chanfros, as arestas, o ângulo de inclinação, a absorção de água, a resistência à abrasão, inspeção visual e a resistência característica à compressão. Este último parâmetro é o mais utilizado para qualificar as PCPs, pois é ele que define onde as peças podem ser utilizadas.

2.5.2 Parâmetros de qualidade na produção das PCPs

O controle de produção não deve dar-se unicamente em cima das características finais das peças, sendo indispensável antecipar o controle de qualidade e de invariabilidade da matéria prima utilizada. Por sua vez, o controle realizado em produção, tem o objetivo de controlar os fatores que exercem influência na resistência à compressão (HELENE,1993, apud CORRÊA, 2013, p. 75).

Muitos são os parâmetros que exercem influência na qualidade da produção, Corrêa (2013) observou alguns destes ao realizar a sua pesquisa em fábricas de PCPs. Pode ser citado, como exemplo, a recepção da matéria-prima e a averiguação da uniformidade da mesma, o proporcionamento dos agregados, a ordem de entrada dos agregados no misturador, o tempo que ficam no misturador, a adição de água, o tempo de alimentação e compressão do concreto na vibro-prensa, o transporte e, por fim, a cura.

Portanto, a instabilidade presente em todos os processos é a principal causa de produtos defeituosos. Podendo ter como falha problemas em equipamentos de origem mecânica ou elétrica, por vezes causando perdas, desperdícios e até acidentes. Todavia, é primordial que se trabalhe em cima das causas da instabilidade, cessando ou reduzindo de maneira efetiva os efeitos indesejados (WERKEMA, 1995, p. 108).

Alguns fabricantes da região Sul do Brasil utilizam como parâmetro de controle interno da produção o peso úmido das peças, logo que saem das vibro-prensas. Alterações de peso durante o processo acontecem devido às alterações de umidade das misturas, oriundas da ausência de equipamentos adequados, tais como, sensores de umidade ou de variações na granulometria dos agregados. Para tanto, estima-se o peso ideal verde que a peça precisará ter, e este peso será aferido durante a produção (OLIVEIRA, 2004).

A comparação da peça produzida com o peso ideal estipulado se dá individualmente e por amostragem, o que não fornece garantias, pois pode haver inconsistência na obtenção dessas amostras, conforme o relato:

Quando ocorre a pesagem de alguma peça verde, esta é coletada do lado da chapa que facilita a coleta pelo operador. Neste caso, sempre ocorre a coleta das peças de um mesmo lado da chapa, pois é ali que o operador fica posicionado. O que pode ocorrer é a pesagem das peças mais pesadas sendo então considerada uma produção boa. Também não é hábito ser anotado na planilha de controle qual posição a peça está sendo coletada na chapa nem o tempo de prensagem (vibro-compressão). (CORREA, 2013, p.86)

Diante das dificuldades na realização de medições que representem o peso de todas as peças produzidas, o desenvolvimento de um sistema que pudesse realizar a medição do peso de todas as peças da chapa em tempo real de produção poderia melhorar o controle das peças produzidas. Além disso, esse sistema possibilitaria inferir correções no processo, principal objetivo do trabalho proposto aqui.

3 SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE PESO EM LINHA DE PRODUÇÃO

Atualmente, para medição de força e peso, seja em tração ou compressão, são utilizadas células de carga, podendo ser aplicadas em balanças, sistemas de pesagem e outras aplicações onde a variável força deve ser conhecida. O emprego de células de carga como transdutores em medição de força, é atualmente aplicada em uma ampla variedade de soluções, sejam elas comerciais ou em automação de processos industriais. Torna-se imprescindível a sua utilização onde se quer conhecer a variável peso (MOREIRA, 2005, p.40).

Em linhas de produção, como no caso que está sendo estudado neste trabalho, as tecnologias de medição presentes envolvidas, se mostram no momento da dosagem da matéria prima, onde por vezes pode-se dar pela medida do peso da matéria prima ou pelo volume, cujo método Frasson (2000) comenta não ser tão preciso. Há também o acompanhamento do peso dos blocos recém prensados, porém, de maneira individual, como mostra Corrêa (2013) em seu trabalho anteriormente abordado, onde relata problemas na obtenção dos valores das amostras dos blocos recém produzidos, propiciando, desta forma, um espaço para o estudo do tema neste trabalho proposto.

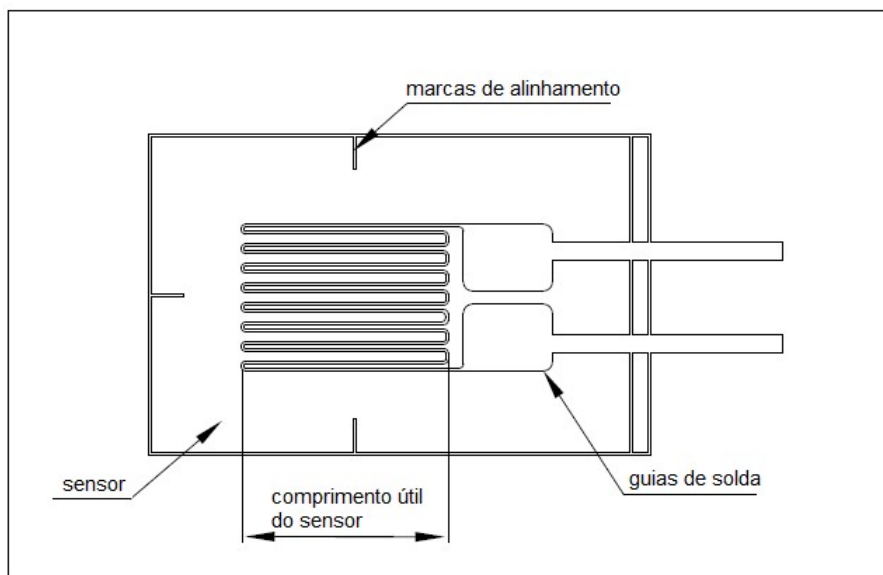
3.1 Célula de carga

Na literatura, encontram-se várias definições para descrever o mesmo dispositivo. Gallina (2003) descreve como estruturas mecânicas concebidas para receber esforços e deformações, dentro do regime elástico do material na qual a mesma foi fabricada. Moreira (2005) define como um transdutor que converte energia mecânica em energia elétrica, e, inteirando a sua definição, o próprio autor descreve que “é um dispositivo que produz um sinal elétrico da saída proporcional ao peso aplicado na superfície de carga”. Nota-se na qual as definições se perfazem com o intuito descrever ainda melhor a célula de carga.

Contudo, para que as células de carga consigam desenvolver o que foi descrito anteriormente, as mesmas são dotadas de sensores que conseguem medir essas deformações e transformá-las em um sinal elétrico. Esses sensores podem ser encontrados com as denominações de extensômetros e *strainingauge* (figura 22). Na

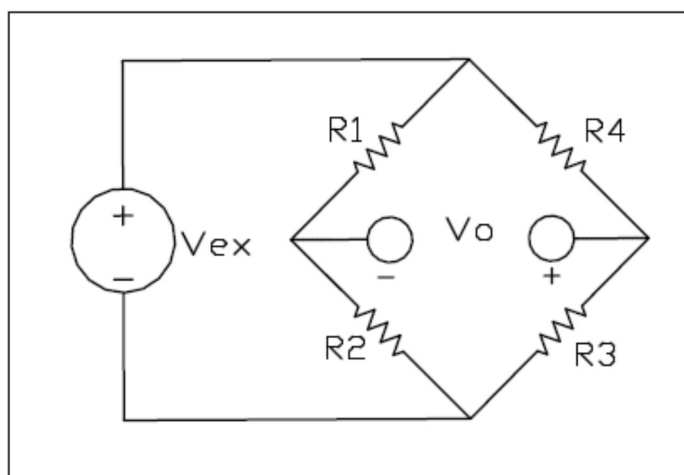
grande maioria dos modelos existentes são utilizados quatro extensômetros interligados entre si de forma a compor a Ponte de Wheatstone (figura 23) (MOREIRA, 2005, p.37).

FIGURA 22 - Extensômetros



Fonte: NATIONAL INSTRUMENTS

FIGURA 23- Diagrama da Ponte de Wheatstone



Fonte: NATIONAL INSTRUMENTS

O princípio de funcionamento está baseado na variação da resistência elétrica do extensômetro produzida pela variação do comprimento, o que causa o aumento ou

diminuição da área, modificando a estrutura metálica do comprimento, fazendo existir, na resistência elétrica, uma alteração proporcional (ROSÁRIO, 2005, p. 82).

Portanto, ao alimentar-se o circuito da Ponte de Wheatstone com uma tensão fixa, tem-se na saída uma tensão proporcional à deformação dos extensômetros, conseqüentemente, da estrutura mecânica que obedece a equação a seguir (Equação 2):

Equação 2 - Equação Ponte de Wheatstone

$$V_O = \left[\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] * V_{EX}$$

Fonte: NATIONAL INSTRUMENTS

Onde:

V_{EX} → Tensão de alimentação da Ponte de Wheatstone

V_O → Tensão de saída

R_1, R_2, R_3, R_4 → Valores de resistência do *straingauge*

Normalmente, as células de carga são empregadas para medir forças de tração e compressão, em uma infinidade de aplicações como nas máquinas de ensaio, nos dinamômetros, nos cabos, nas balanças industriais e comerciais, na automação e no controle de processos industriais. Contudo, a grande propagação da célula de carga advém do efetivo uso da variável peso nas mais diversas aplicações, seja ela industrial, comercial ou residencial (GALLINA, 2003, p. 30).

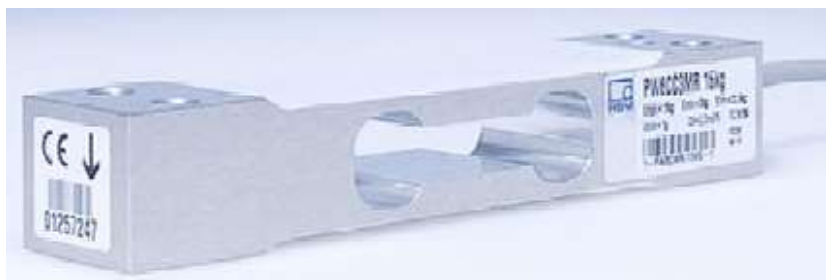
3.2 Tipos de célula de carga

As células de carga são encontradas no mercado em uma variedade de opções, e a escolha do modelo a ser usado depende principalmente da sua aplicação. A estrutura mecânica do dispositivo pode ser basicamente de dois tipos: de alumínio e de aço. As células em aço são oferecidas no mercado em duas ligas diferentes, em aço carbono e aço inoxidável (KREMER, 2008, p.28).

Além do material na qual a célula é fabricada, a sua estrutura pode variar quanto ao formato. Nesse sentido, encontra-se cinco principais modelos de célula de

carga: o single point (figura 24), a shear beam (figura 25), o Tipo “S” (figura 26), a canister (figura 27) e o anel de torção (figura 28) (HBM, 2015, p.1).

FIGURA 24 - Single Point



Fonte:HBM

FIGURA 25 - Shear Beam



Fonte: HBM

FIGURA 26 - Tipo “S”



Fonte: HBM

FIGURA 27 - Canister



Fonte: HBM

FIGURA 28 - Anel de torção



Fonte: HBM

Contudo, no momento da escolha, além do material que a célula é fabricada e o formato, outras duas características são fundamentalmente importantes: a capacidade nominal e a sensibilidade.

A capacidade nominal é a força máxima que a célula poderá medir. Os fatores de sobrecarga (de 50% ou mais) sem causar danos ao dispositivo e ruptura (de 300%) são intrínsecos à célula.

O quesito da sensibilidade é expresso em milivolt de sinal por volt de excitação (mV/V). O desbalanceamento da Ponte de Wheatstone é medido através da variação da tensão na saída, em função da tensão de excitação aplicada. Significa dizer que uma célula de carga com 40kgf⁴ de capacidade e 2mV/V de sensibilidade, alimentada por uma tensão de excitação de 10V, quando sujeita a uma força igual a sua

⁴ 1kgf = 9,8N

capacidade nominal de 40kgf, terá em seus terminais de saída uma tensão de 20mV (KOZIKOSKI; RIBEIRO; RUFFINI, 2012, p.31).

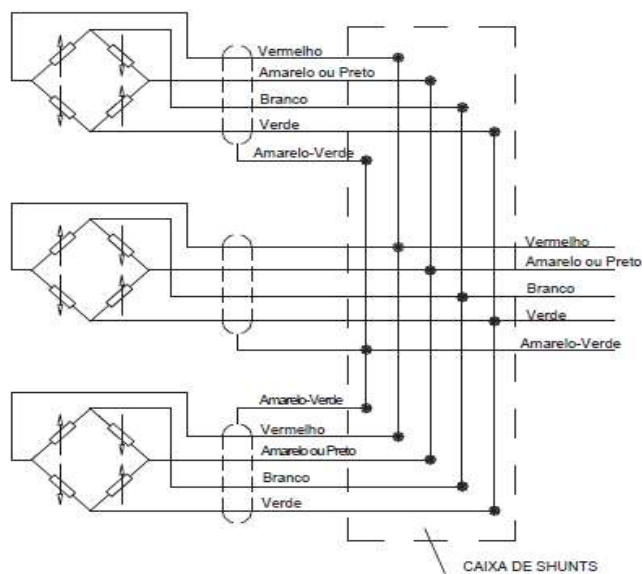
A célula de carga utilizada neste projeto é a GL-40 do tipo Single Point, com sensibilidade de 2mV/V, com capacidade para medir até 40kgf e sobrecarga de 150%. Este tipo de célula apresenta fácil instalação e baixo custo.

3.3 Caixa de junção

A caixa de junção é o dispositivo utilizado para conectar os cabos de duas ou mais células de carga que tem como saída um único cabo que representa a soma dos sinais das várias células. É formada normalmente por uma placa de circuito passivo, na qual as células de carga são conectadas entre si em paralelo (figura 29) e possuem um potenciômetro de compensação para cada célula de carga, dando a possibilidade de ajuste do sinal. Em balanças ou sistemas de medição de peso, que fazem uso de mais de uma célula de carga, há a necessidade desse ajuste do sinal, independentemente de onde pode ser posicionado o peso sobre a plataforma, o sinal de saída tem que ser o mesmo.

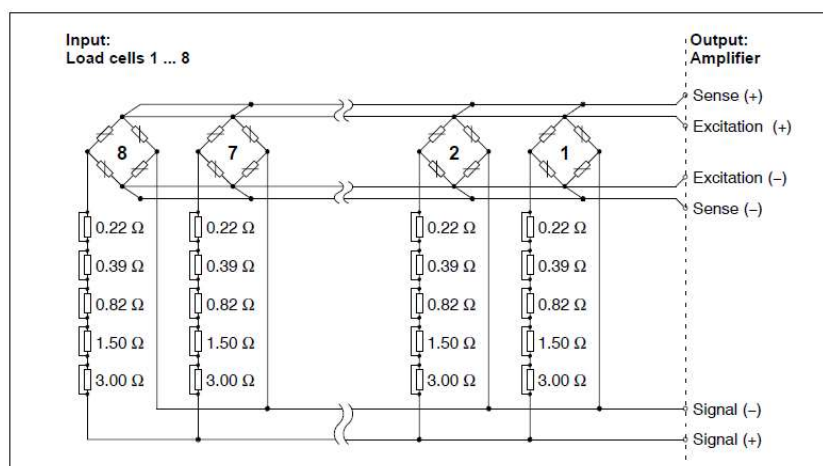
Para tanto, conforme o potenciômetro venha a ser posicionado no circuito, ele possibilita dois métodos de soma desse sinal. Um dos métodos se dá com o ajuste da tensão de alimentação da célula ou também com a chamada tensão de excitação, cujo método pode ser chamado por “compensação de excitação”. O outro método se dá colocando o potenciômetro no sinal de saída (figura 30), desviando o sinal de cada célula, chamado de “compensação de sinal” (AGILENT, 2012, p.1).

FIGURA 29 – Diagrama caixa de junção



Fonte: GEFTRAN

FIGURA 30 – Compensação de excitação



Fonte: HBM

3.4 Condicionamento de sinal

O condicionamento de sinal é uma etapa da leitura do sinal de sensores de um sistema de medição que, geralmente, tem que ser processado de alguma maneira para torná-lo apropriado ao próximo estágio de operação (BOLTON, 2010).

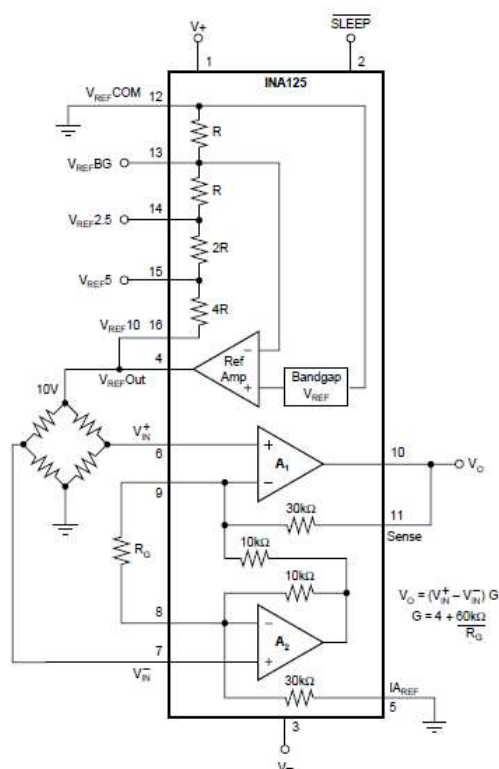
As células de carga são os sensores de força do projeto que fornece um sinal muito pequeno, na maioria das aplicações o sinal pode chegar a 20mV. Portanto, condicionadores de sinal para células de carga são utilizados para amplificar o nível

do sinal, aumentando assim a resolução da medição e melhorando a imunidade ao ruído (NATIONAL INSTRUMENTS, 2013).

Para isso, os circuitos de amplificadores de sinal são projetados utilizando a teoria dos amplificadores operacionais (KOZIKOSKI; RIBEIRO; RUFFINI, 2012). Desse modo, neste projeto será usado um circuito integrado com amplificadores operacionais dedicados ao uso de sensores *straingauge* em forma de Ponte de Wheatstone.

O amplificador de instrumentação INA125 (Figura 31) da Texas Instruments (TEXAS INSTRUMENTS, 2015) se mostrou apropriado na confecção do amplificador do projeto do modelo conceitual. Dentre as características do circuito integrado INA125, algumas, em especial, foram determinantes para sua escolha: a razão de rejeição em modo comum, que rejeita em boa parte o ruído advindo da entrada; um regulador de tensão para alimentar as células de carga e o sinal de saída de 0 a 10 volts; tendo assim o padrão industrial para sensores analógicos em campo, podendo ser lido por qualquer controlador lógico programável que dispuser de uma entrada analógica.

FIGURA 31 - Circuito integrado INA125



Fonte: TEXAS INSTRUMENTS

3.5 Controlador Lógico Programável (CLP)

O controlador lógico programável, também conhecido por CLP, tem como definição um sistema eletrônico digital desenvolvido para ambientes industriais. O CLP possui memória programável para armazenamento das instruções internas, implementa funções de lógica, sequenciamento, temporização e operações aritméticas para controle através das interfaces de entrada e saídas digitais e/ou analógicas em vários equipamentos ou processos (FRANCHI, 2009, p.23).

Os CLPs, dispositivos micro processados, começaram a ser aplicados em 1969 na linha de produção de uma unidade da General Motors nos EUA, em substituição aos dispositivos eletromecânicos usados na indústria. Estes dispositivos necessitavam de um empenho muito grande da equipe de operação quando havia necessidade de alterações na linha de produção. No início, os CLPs executavam operações como sequenciadores de estados de máquina, mas, no decorrer da década de 70 com o aprimoramento, passaram a executar funções de temporizador, de contadores, de operações aritméticas, de controle de impressão, de movimentação de dados, de operações matriciais e de controle analógico PID (PUPO, 2002, p.10).

3.5.1 Arquitetura de um CLP

Os CLPs são dispositivos de estado sólido que podem ser programados para executarem instruções lógicas que controlam outros dispositivos, máquinas e operações de processos. São concebidos para operarem em ambientes severos, devendo resistir a temperaturas altas, a ruídos elétricos, à poluição, a ambientes úmidos, etc (FRANCHI, 2009, p.29).

Em sua concepção, a arquitetura básica de um Controlador Lógico Programável pode ser definida em três partes principais:

- Unidade Central de Processamento (CPU): responsável pela execução do programa, pelo gerenciamento de memória e por outros circuitos internos;
- Fonte de Alimentação: fornece tensão de alimentação para CPU e para os circuitos de entrada e de saída;
- Circuito de Entrada e Saída: são circuitos cuja finalidade é intermediar ou condicionar os sinais de entrada a níveis de tensão que a CPU possa processar, sejam

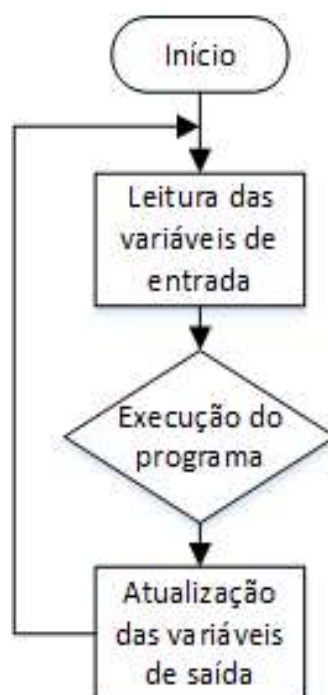
sinais discretos ou sinais analógicos, o mesmo acontece com a saída (ROSÁRIO, 2005, p. 284).

A esses três componentes básicos podem ser acrescentados periféricos como monitores, *Displays* LCD, teclado para programação, impressoras, módulos de comunicação com dispositivos de campo, módulos conversores A/D e D/A, etc (PUPO, 2002, p.13).

3.5.2 Funcionamento de um CLP

O princípio de funcionamento do CLP está na execução de um programa desenvolvido pelo fabricante dentro da CPU, o *Firmware*. De modo cíclico, realiza a leitura das variáveis de entrada por meio do módulo de entrada do CLP, em conjunto com a execução do programa armazenado e desenvolvido pelo usuário, destinado ao controle e monitoramento de tarefas específicas. Por meio de uma lógica implementada, o dispositivo faz ou não intervenções nas variáveis de saída pelo módulo de saída do CLP (Figura 32) (ROSÁRIO, 2005, p.284).

FIGURA 32 - Ciclo de funcionamento do CLP



Fonte: Adaptação (ROSÁRIO, 2005)

3.5.3 Modelos de CLP

Para a escolha do CLP mais adequado a uma determinada aplicação, muitas são as características que podem ser levantadas. São algumas delas: a quantidade e os tipos de entrada e de saída, o tamanho de memória disponibilizada, a velocidade do tempo de respostas (PUPO, 2002, p.32). Dependendo de como as funcionalidades e estruturas do CLP são constituídas, pode-se agrupá-las em dois segmentos: os compactos e os modulares.

Os CLPs compactos possuem como característica diferencial a incorporação de todas as funcionalidades em uma única peça: a fonte de alimentação, os módulos de entrada/saída, a CPU e comunicação, restando para o usuário somente o acesso aos conectores de entrada e saída. Normalmente, esse tipo de estrutura é adotado para CLPs de pequeno porte (FRANCHI, 2009, p.42).

Os modulares são caracterizados por uma estrutura onde são adicionados os módulos. Cada módulo, por sua vez, executa uma função em especial. Pode-se ter um módulo com CPU, fonte e memória juntos, ou com fonte separada. O sistema de entrada e saída pode ser decomposto em módulos de acordo com suas características. Ressalta-se que, para cada módulo, existe uma posição pré-definida. Esse tipo de estrutura é utilizado para CLPs de médio e grande porte (FRANCHI, 2009, p.42).

No entanto, mediante uma vasta gama de modelos ofertados por diversos fabricantes, com os variados recursos, torna-se primordial uma análise das possibilidades que considere a perspectiva no processo específico, antes de decidir por um exemplar que poderá não contemplar às exigências. Nesse sentido, é necessário observar as seguintes áreas:

- Econômica: deve-se ter o comprometimento com o melhor custo/benefício;
- Técnica: verificar se o modelo escolhido contempla as necessidades do processo;
- Alternativas: avaliar outras possibilidades para o desenvolvimento do sistema (PUPO, 2002. p.31).

Além das áreas citadas anteriormente, Pupo (2002) apresenta algumas indagações que podem auxiliar no momento da escolha de um modelo:

- O usuário consegue obter assistência do fabricante no desenvolvimento do sistema?
- Qual a participação do fabricante no mercado?
- O fabricante oferece treinamento?
- O fabricante disponibiliza documentação suficiente?
- Qual a compatibilidade entre o equipamento com o de outros fabricantes?
- O método de programação é compatível com o plano de controle da planta?

As respostas a esses questionamentos podem oferecer um melhor respaldo na escolha do CLP, tendo em vista que a análise desses itens propiciaria um melhor pós-atendimento do sistema.

Normalmente, a programação do CLP é realizada por um *software* fornecido pelo próprio fabricante. Esta ferramenta dá condições ao usuário de programar a lógica de funcionamento do processo na CPU do equipamento. Dentre algumas linguagens destinadas a CLPs, as mais específicas e utilizadas são: a lista de instruções, a linguagem de blocos, o texto estruturado, a *Ladder*, e os blocos lógicos. No entanto, a linguagem que teve maior aceitação por técnicos e engenheiros no meio industrial é a *Ladder*. Este fato se dá por essa linguagem se assemelhar muito aos símbolos utilizados pelos eletricitistas nos projetos de comandos elétricos (SILVA, 2013, p.25).

3.6 Supervisórios

Com o desenvolvimento das tecnologias, os computadores assumiram uma posição de gestão na aquisição e tratamento de dados, dando condições de visualizar as variáveis do processo em uma tela e o desenvolvimento de funções complexas de controle (ROSÁRIO, 2005, p.295).

Com objetivo de conseguir melhores níveis de flexibilidade e reação no meio industrial, os sistemas de comando de processos automatizados são, em sua grande maioria, arrançados de forma distribuída, por partes operativas comandadas por diversos CLPs, e em partes controladas por sistemas de supervisão. Nestes sistemas, as trocas de dados entre as diversas estruturas físicas de comando são realizadas em rede local (ROSÁRIO, 2005, p.294).

Contudo, os sistemas de supervisão, também conhecidos como SCADA (*supervisory control and data acquisition*), têm a função de coletar, transferir informações lógicas e analógicas sobre o estado corrente do processo, apresentar esses dados na sala de controle e comandar dispositivos remotamente, possibilitando, dessa forma, uma flexibilidade maior no controle do processo (ALBUQUERQUE, 2009, p.213).

Para uma melhor compreensão das atribuições de um sistema SCADA, pode-se dividi-los nas seguintes partes: controle, monitoração e supervisão. Na ação de controle, geram-se sinais de forma que as variáveis controladas procedam de acordo com o preestabelecido. Na monitoração, as aquisições de dados são realizadas para averiguar as condições de funcionamento de um processo. Destaca-se, nesta ação, a sinalização valores, as falhas, os alarmes, etc. Na supervisão, tem-se a aquisição de dados da condição de elaborar ações estratégicas para maximizar o retorno financeiro.

Atualmente existem diversos sistemas supervisórios disponíveis no mercado, pode-se encontrar soluções pagas e gratuitas, Huller (2014) descreve em seu trabalho os mais utilizados atualmente no meio industrial, sendo: *Elipse SCADA (Elipse Software)*; *FactoryTalkView SE (Rockwell Automation)*; *iFIX (General Electric)*; *nduSoftView (SMAR)*; *ProcessView (SMAR)*; *ScadaBR (MCA Sistemas)*; *SIMATIC Wincc (Siemens)*; *VijeoCitect (Schneider Electric)*; *Wondeware in Touch (Invensys)*; *ADX (Johnson Controls)*.

3.6.1 Supervisório ScadaBR

De um modo geral, os sistemas supervisórios padecem com a enorme quantidade de protocolos de comunicação. Estes são responsáveis pela comunicação entre os dispositivos, CLPs, sensores, microcomputadores, etc. Em meados dos anos 80, os fabricantes, ao desenvolverem seus produtos, atrelavam a ele um protocolo proprietário, mantendo assim os clientes dependentes de seus produtos. Entretanto, os sistemas supervisórios de código aberto buscam oferecer apenas protocolos largamente utilizados, este é um importante diferencial entre esses softwares de código aberto e as soluções comerciais (DURÃO, 2011, p. 25).

A figura 33 apresenta telas do supervisor desenvolvido pela MCA Sistemas, empresa nacional sob licença de software livre, o mesmo permite o desenvolvimento de sistemas de supervisórios para diversos ramos industriais, podendo ser na área de saneamento, energia, automação predial e industrial.

Por ser um projeto que em 2016 já está com mais de cinco anos, o ScadaBr se mostra promissor em diversos quesitos, como: na variedade de protocolos de comunicação (atualmente são mais de vinte); funcionar como servidor tanto em plataforma *Linux*, como *Windows*; a possibilidade de ser acessado pelo cliente sem a necessidade de instalar qualquer outro *software*, utilizando apenas um navegador de internet; ter suporte e documentação em português; ter registro de histórico das variáveis medidas; geração de relatórios personalizáveis e licença gratuita. Por esses motivos, o *software* ScadaBr foi escolhido para ser utilizado neste trabalho.

FIGURA 33 – Exemplos de tela de supervisor



Fonte: SCADABR

3.7 Protocolos de Comunicação

Albuquerque (2009) define protocolo como o conjunto de convenções e procedimentos que regulamentam a transmissão de dados entre diferentes equipamentos. Implementar um sistema de comunicação apropriado é uma etapa importante para o processo de integração de sistemas. Para Joaquim (2006) um estudo do tipo de rede a ser adotada deve levar em conta os custos de implantação, de manutenção, o quão disponível a rede deverá ficar, os tipos de informações que irão trafegar, podendo ser variáveis, discretas ou analógicas, e outras particularidades que a empresa possa ter.

A comunicação entre máquinas e a produção no meio industrial atualmente estão sujeitas ao sistema de comunicação adotado, a qual forma uma rede de

comunicação de dados com várias máquinas inteligentes. A necessidade de troca de dados entre CLPs e demais equipamentos levou até os equipamentos mais simples a adquirirem estas condições de comunicação (PUPO, 2002, p.34).

Um exemplo dessa dependência da comunicação adotada está no início do desenvolvimento de equipamentos para automação. Os fabricantes, ao desenvolverem os produtos, faziam em cima de um padrão próprio, tornando a comunicação incompatível entre equipamentos de diferentes fabricantes. Como exemplo, tem a Data Highway (Allan-Bradley), o Modbus (Gould), a GE Net Factory LAN (General Electric), a Melsec-NET (Mitsubishi), a Comli (SattControl), a SY/NET (Square D), o TIWAY (Texas Instruments), e outros. Nestes produtos, o desenvolvimento do processo ficava amarrado às tecnologias do fabricante do setor (PUPO, 2002, p.34).

No entanto, com o aprimoramento dos dispositivos de campo como sensores e atuadores, os mesmos foram ganhando recursos que passaram a fornecer cada vez mais informações sobre o processo. Dessa forma, foram desenvolvidos protocolos de comunicação que permitiram uma maior troca de informações entre eles e os sistemas supervisório. Dentre os mais conhecidos, pode-se destacar: ARCNet, AS-I, CANopen, ControlNet, DeviceNet (ODVA), Fieldbus Foundation, Ethernet, HART, INTERBUS Loop, -S, IEC/ISA SP50, LonWorks, Modbus, Modbus/TCP, Profibus-DP, -FMS, -PA, SERCOS, Seriplex, SmartDistributed System, WorldFIP.

3.7.1 MODBUS

O protocolo MODBUS foi inicialmente idealizado para utilização em barramento de campo, concebido pela MODICON fabricante de produtos para automação, com o intuito de usar em seus dispositivos. Inicialmente, foi denominado como protocolo proprietário, porém, com o passar do tempo, o protocolo MODBUS foi sendo utilizado por vários fabricantes, com a autorização da MODICON (ALBUQUERQUE, 2009, p.118).

A arquitetura MODBUS é baseada em mestre-escravo. Nesse modelo, as estações escravas não se comunicam entre si, precisando de um mestre para intermediar toda a comunicação. A estação mestre faz um endereçamento de uma requisição e um determinado escravo responde, ou o mestre em modo difusão pode

enviar uma mensagem comum para todos os escravos. Em uma rede MODBUS, pode haver um mestre e 247 escravos (ALBUQUERQUE, 2009, p.119).

O protocolo MODBUS apresenta algumas variações dependendo do formato dos pacotes de comunicação e da estrutura que será utilizada. Ele pode assumir os modos MODBUS /ASCII (American Standard Code for Information Interchange), MODBUS/RTU (Remote Terminal Unit), MODBUS Plus e MODBUS/TCP (MODBUS sobre Ethernet).

Destes, o modo RTU é o mais utilizado por proporcionar um tamanho de pacote mais compacto. No entanto, a variação “Plus” oferece alguns recursos a mais de roteamento, diagnóstico, endereçamento e consistência de dados. Esta variação do protocolo se encontra sob licença da “Scheider Electric”. Deste modo, por ter sua licença livre, o protocolo MODBUS/RTU tornou-se muito comum em dispositivos como sensores, atuadores e CLPs aplicados na automação de processos.

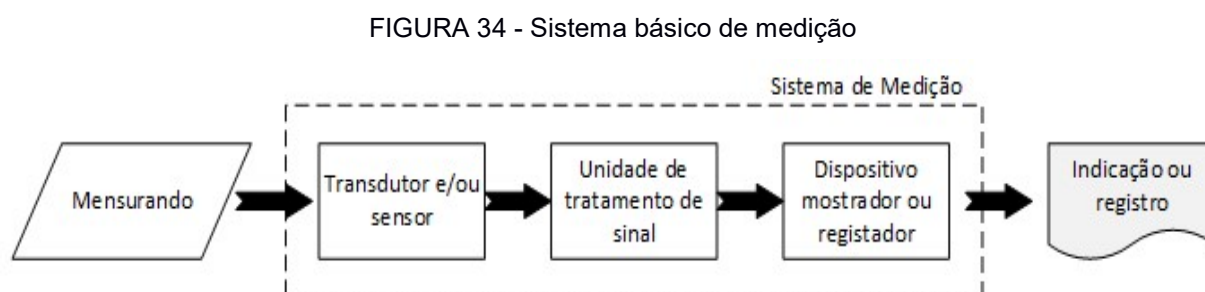
3.7.2 MODBUS/TCP

A variação MODBUS/TCP permite ser utilizado no meio físico “*Ethernet*” (IEEE 802.3), assim possibilitando que os dispositivos se comuniquem de forma fácil e imediata. Também fica disponível em um número maior de endereços e um uso de múltiplos Mestres. A velocidade de transmissão pode operar na faixa de Gbits (ALBUQUERQUE, 2009, p.124).

Joaquim (2006) comenta que vários autores já discutem há algum tempo a utilização do padrão de rede *Ethernet* dentro do controle industrial em seus vários níveis de automação. Como o mesmo já é utilizado nos ambientes empresariais, a rede *Ethernet* permeia com naturalidade em nível de controle industrial, e encontra dispositivos no chão de fábrica fazendo uso da mesma. Do ponto de vista técnico, existem razões que justificam a utilização do padrão *Ethernet*, que compreende o acesso aos dados em diferentes níveis hierárquicos, uma maior velocidade na transmissão de dados, custo reduzido em manutenção, facilidade em expansão e a existência de protocolos padronizados pela norma IEEE 802.3.

4 SISTEMA DE MEDIÇÃO

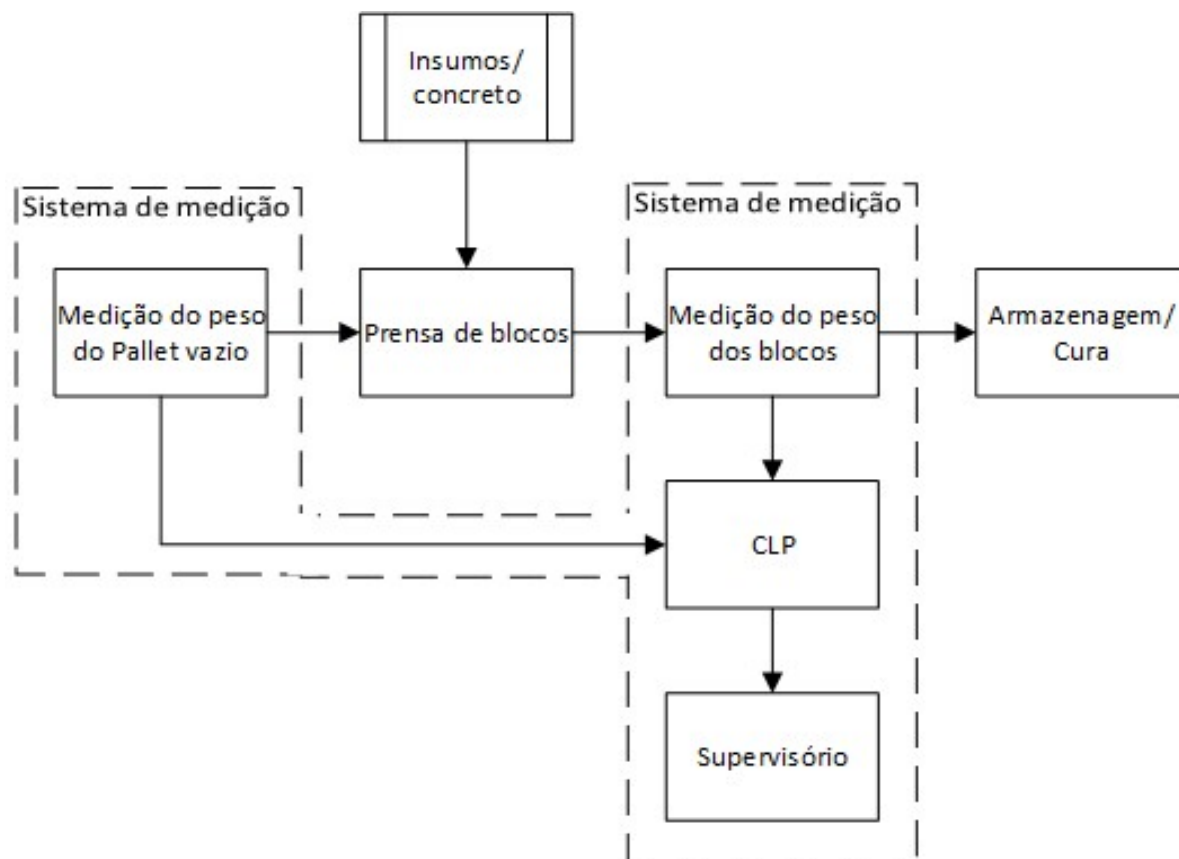
O sistema de medição desenvolvido no projeto segue o raciocínio desenvolvido por Albertazzi (2008) (figura 34), que, em sua composição, apresenta três partes básicas: o transdutor de força (as células de carga), a unidade de tratamento (representado pela caixa de junção aglutinada com o amplificador de sinal) e o dispositivo mostrador e/ou registrador (função desempenhada pelo CLP juntamente com o supervisor). Constituindo, dessa maneira, os componentes básicos do protótipo.



Fonte: Adaptado (ALBERTAZZI, 2008)

O sistema de medição de peso tem a pretensão de funcionar da seguinte forma: Iniciará com a medição de peso do pallet vazio por uma balança na parte de trás da prensa. Esse pallet vazio será posicionado na prensa, no qual serão moldados e vibro prensados os blocos. Na sequência, o pallet sai pela frente e é posicionado em cima de outra balança. Neste momento do processo, é realizada a medição do peso do pallet com os blocos, identificando as informações necessárias para a avaliação dos blocos demonstrando o resultado instantâneo no CLP. O resultado da produção deverá ser visto no supervisor conforme esboço (figura 35).

FIGURA 35 – Fluxograma do sistema de medição



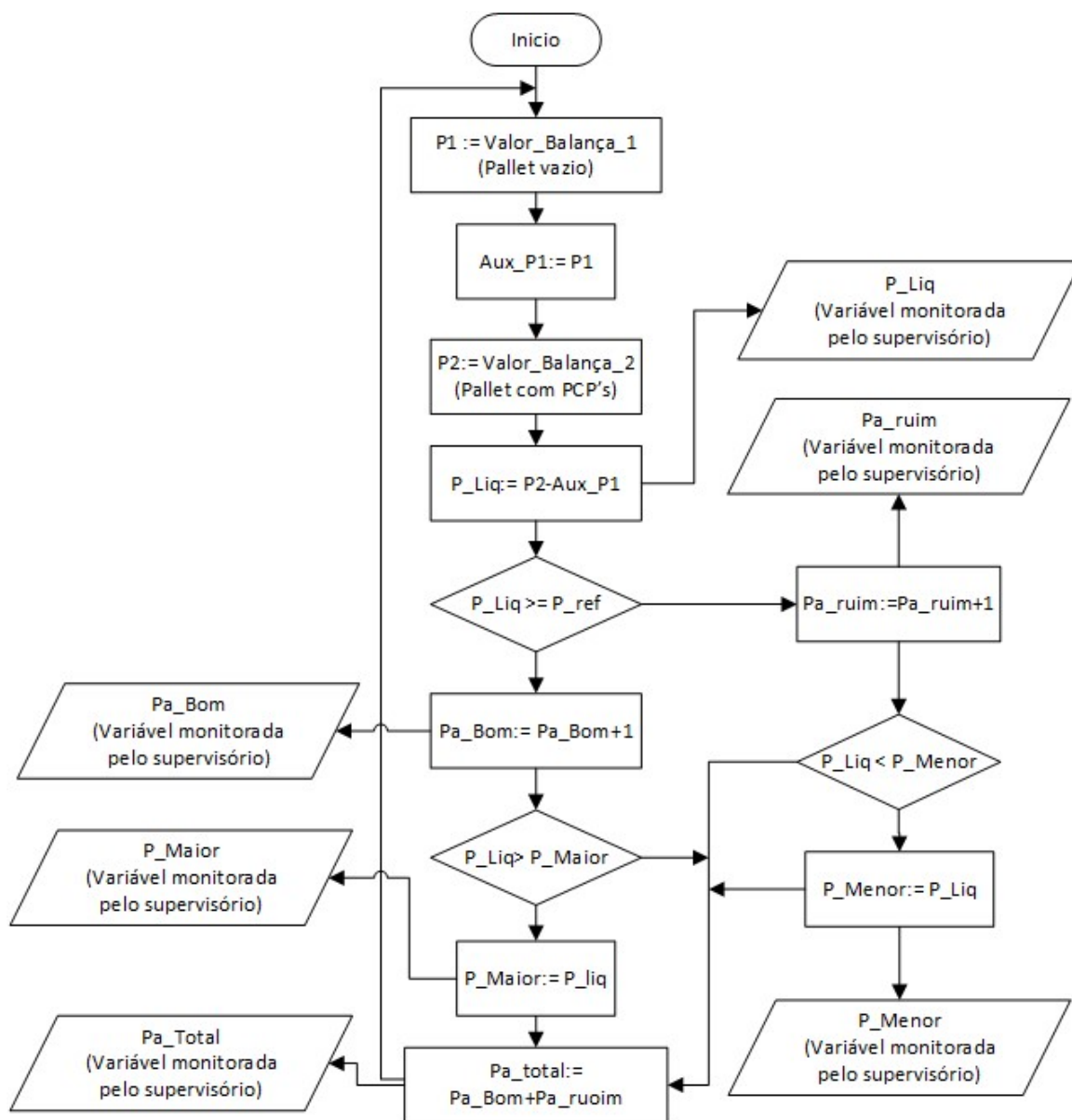
Fonte: Próprio autor

Cabe ressaltar, neste momento, que o acionamento da vibro prensa para a execução das avaliações pode ser semiautomático ou automatizado. Nas prensas semiautomáticas, a alimentação dos *pallets* vazios e a sua retirada são realizadas por um sistema mecânico acionado por um cilindro hidráulico ou pneumático, comandado manualmente por um operador. As prensas automatizadas têm a mesma ideia das semiautomáticas, porém comandadas por CLP.

4.1 Algoritmo do software de medição do CLP

O desenvolvimento do algoritmo (software) para este projeto partiu do levantamento das principais necessidades para o seu funcionamento, a avaliação das condições dos blocos e contribuição com informações gerenciais. A partir desse momento, desenvolve-se o algoritmo, o qual pode ser analisado de maneira objetiva no fluxograma apresentado na figura 36.

FIGURA 36 – Algoritmo do sistema de medição



Fonte: Próprio autor

Para realizar as avaliações dos blocos, seguiu-se o seguinte método: medição do peso do pallet vazio, cujo valor é atribuído a uma variável; no passo seguinte, quando o pallet se desloca para a prensa onde serão moldados os blocos, o valor do pallet vazio é atribuído a uma variável auxiliar, possibilitando a variável anterior a receber um novo valor de peso de outro pallet vazio. O pallet, saindo da prensa com os blocos moldados, é novamente pesado e atribuído o valor em outra variável. A partir desse ponto, é realizada a avaliação dos blocos, calculando-se o valor do peso

líquido através da subtração do valor do pallet vazio do valor do pallet com blocos, no qual, agora, será comparado com o peso de referência.

Caso a variável peso líquido for menor que o peso de referência, o pallet é considerado como ruim, e é incrementado uma variável que armazena o número de pallet ruins e guarda o valor do pallet com menor peso, cuja finalidade é armazenar o valor do menor peso dos pallets considerados como ruins.

Caso a variável peso líquido for maior que o peso de referência, o pallet é considerado como bom, e é incrementado uma variável que armazena o número de pallets bons, e guarda o valor do pallet com maior peso, cuja finalidade é de armazenar o maior valor do peso dos pallets tidos como bons.

Algumas variáveis foram escolhidas com o intuito de prover informações ao supervisor para auxiliar na tomada de decisão, que são elas: peso líquido, número de pallets com menor peso, número de pallets com maior peso, menor peso, maior peso, e total de pallets produzidos.

Percebe-se que o algoritmo é relativamente simples (Apêndice A), no entanto, a variável peso de referência é que demanda mais atenção, visto que é uma variável que deve ser “predefinida” por uma pessoa conhecedora do processo produtivo. É a partir do valor dessa variável que se tem sucesso na avaliação dos blocos produzidos.

Vale frisar que o valor da variável de peso de referência não é igual para todas as indústrias que produzem blocos de concreto para pavimentação, ela é única para determinado processo fabril, obtida por análises estatísticas aplicadas às amostras do processo, visto a importância e a influência das etapas do processo de fabricação e das matérias-primas descritas no capítulo 2.

4.2 Conversão de grandezas

Uma etapa muito importante do desenvolvimento do protótipo foi a conversão de grandezas, até que os valores do peso dos blocos sejam avaliados pelo algoritmo anteriormente descrito, há fases de conversões muito importantes. O amplificador de sinal, assim concebido no desenvolvimento do projeto, propõe-se a enviar à entrada analógica do CLP um sinal de 0 a 10V. Estes valores de tensão são discretizados em níveis de 0 a 32767, que é a faixa de valores disponibilizado pelo CLP.

A partir daí, teve-se a necessidade de implementar duas equações que estabeleçam essa relação entre peso e o número inteiro disponibilizado pelo CLP. Com toda a estrutura física do projeto montada, iniciou-se procedimento para coletar informações. Como não se dispunha de peso padrão, utilizou-se de objetos com peso diferentes medidos em balanças com certificados de calibração, para que se tivesse uma maior segurança dos valores.

Após realizado o procedimento, foram obtidos os valores apresentados na tabela 2. Durante o experimento, verificou-se a instabilidade do último dígito, como essa instabilidade não agregaria algum valor na leitura, optou-se por “truncar” o último dígito através de um bloco “*Ladder*” com essa função, mantendo assim a leitura mais estável.

TABELA 2–Relação do peso e o nº inteiro disponibilizado pelo CLP através de ensaios

Sistema de medição de peso		
	Entrada (2 cel.)	Saída (4cel.)
<i>Peso (kgf)</i>	<i>Nº Inteiro</i>	<i>Nº Inteiro</i>
0	267	370
1,1	305	406
2,7	363	460
4,6	431	522
7,70	539	626
10,80	649	728
23,30	1090	1136
26,40	1200	1240
47,20	-	1920
50,30	-	2020
74,25	-	2805

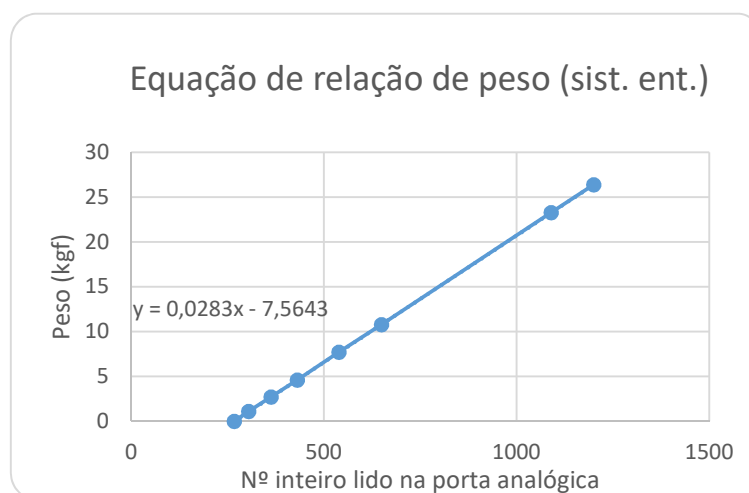
Fonte: Próprio autor

Com esse artifício de “truncar” a última casa do número inteiro, perdeu-se precisão, no entanto, ao reavaliar o número de divisões de 3276 para 80kgf, que é o

peso máximo a ser medido pelo projeto, percebeu-se que se tem 24,4gf por divisão. Vê-se mais a frente que esse valor atende significativamente à resolução necessária.

Com os números da tabela 2, conseguiu-se, então, obter as duas equações que representassem esses intervalos de amostragens, como podem ser observadas nos gráficos (figura 37 e figura 38).

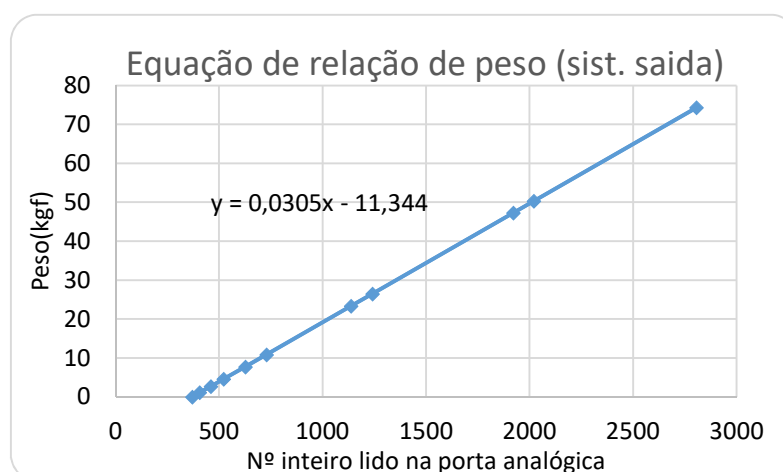
FIGURA 37 – Gráfico da relação peso / sinal analógico ent.



Fonte: Próprio autor

O gráfico (figura 38) representa a equação da célula de medição de peso da saída, que é composta por quatro células de carga.

FIGURA 38 - Gráfico da relação peso / sinal analógico saída.



Fonte: Próprio autor

4.2.1 Valor de uma divisão de escala

Durante a fase de concepção do software, onde delineou-se algumas características que o protótipo deveria ter, a divisão de escala também foi estimada em se alcançar, onde optou-se por trabalhar com resolução de cem gramas. Ao analisar o gráfico (figura 39) e a tabela 3 com os valores dos ensaios realizados nas amostras obtidas no processo de fabricação dos blocos, vê-se que há uma representatividade nos resultados, quando o peso do bloco varia na casa de centenas de grama.

TABELA 3–Resultado dos ensaios das amostras

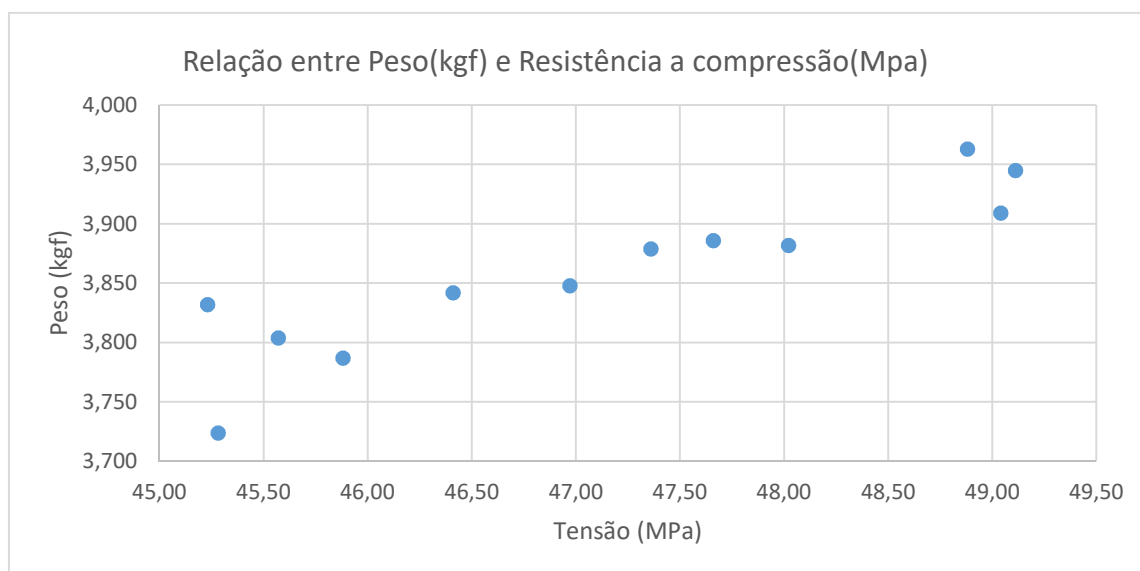
Peso (kgf)	Tensão (Mpa)
3,832	45,23
3,724	45,28
3,804	45,57
3,787	45,88
3,842	46,41
3,848	46,97
3,879	47,36
3,886	47,66
3,882	48,02
3,963	48,88
3,909	49,04
3,945	49,11

Fonte: Próprio autor

Abaixo é apresentado o gráfico (figura 39) gerado a partir dos dados da tabela 3, no qual foram desprezados os valores mais discrepantes das amostras ensaiadas (Apêndice B). Apesar dos números obtidos no ensaio não obedecerem rigorosamente à ideia de quanto maior o peso, tem-se uma maior resistência à compressão, em um primeiro momento, a dispersão dos dados no gráfico nos leva a essa proporcionalidade.

A presença de resultados com números um pouco fora da proporcionalidade pode ter razões advindas da própria vibro-prensa, como foi observada em capítulo anterior a importância de a mesma estar bem regulada.

FIGURA 39 – Resultado da resistência à compressão das amostras



Fonte: Próprio autor

Ao entender que a menor divisão de escala de 100gf esteja avaliando um pallet com 16 blocos de 200x100x80mm, este por sua vez, proporciona indiretamente uma avaliação média de 6,25gf por bloco, o que propicia uma boa condição de análise junto ao sistema.

4.3 Projeto do sistema mecânico

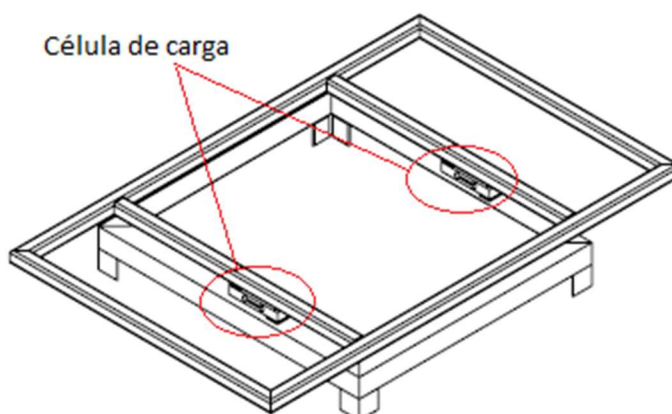
Para o início do desenvolvimento do projeto, definiu-se o tipo de célula, levando em conta o peso que iria medir durante o processo e as necessidades mecânicas que as estruturas deveriam contemplar para que pudessem atingir os objetivos do projeto.

Para tanto, foi escolhido um modelo de célula de carga do tipo “Single-Point”, com capacidade nominal de até 20kgf. Esta suporta uma sobrecarga de 150% da capacidade nominal, fator muito importante, visto que o ambiente na qual será empregada é muito hostil, com momentos de impactos e vibrações. Já a sensibilidade é a mesma para grande maioria das células de carga, que é de 2mV/V.

No entanto, para chegar-se a essa capacidade da célula de carga, foram feitas algumas análises preliminares como o tamanho do pallet no qual será realizado a medição do peso, a distribuição da carga sobre o mesmo e o maior peso que será medido.

Foram desenvolvidos dois modelos de estruturas mecânicas um pouco diferentes uma da outra, uma para medir o peso do pallet vazio (figura 40) e outra para medir o peso do pallet com os blocos (figura 41). No entanto, as duas têm algo em comum, a dimensão da superfície de 110x70cm. Essa dimensão é a mesma do pallet, o que auxilia no alinhamento do pallet sobre o equipamento e uma melhor distribuição das células de carga sob a carga (Apêndice C e D).

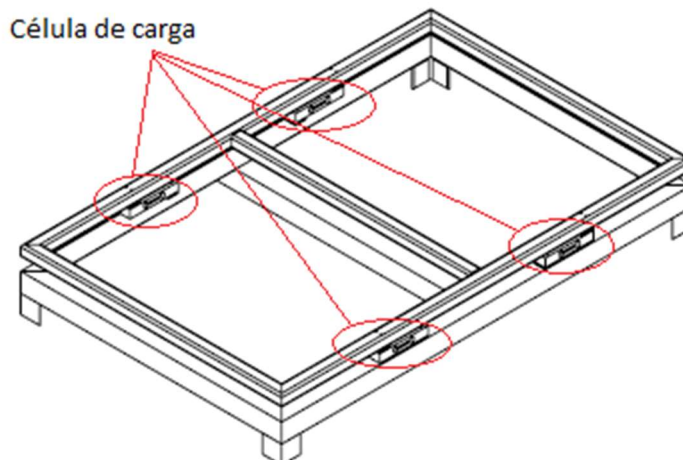
FIGURA 40 - Célula de medição de entrada



Fonte: Próprio autor

As duas células de medição de peso se diferem devido à carga medida por cada uma delas. Enquanto a primeira célula de medição mede o pallet vazio, algo em torno de 9kgf, a segunda célula mede o pallet com os blocos, algo em torno de 60kgf.

FIGURA 41 - Célula de medição de saída



Fonte: Próprio autor

A disposição das células ocorreu de maneira que a carga ficasse geometricamente distribuída e equilibrada. Systems (2010) sugere que seja feita essa distribuição no guia de construção e instalação para células de carga do modelo “Single Point” (Figura 42).

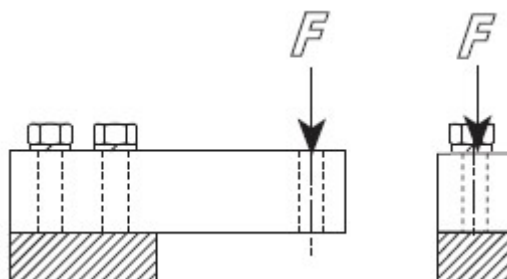
FIGURA 42 - Distribuição das células de carga



Fonte: SYSTEMS, 2010.

Muito importante salientar, que o posicionamento da célula de carga deve ficar de modo que, ao ser aplicada a força, não gere movimento de torção, visto que estas forças nas células desse modelo distorcem o sinal lido. A única força permitida pode ser visualizada na figura 43, também observada no manual da mesma e na indicação no próprio corpo da célula.

FIGURA 43 - Sentido da força nas células de carga

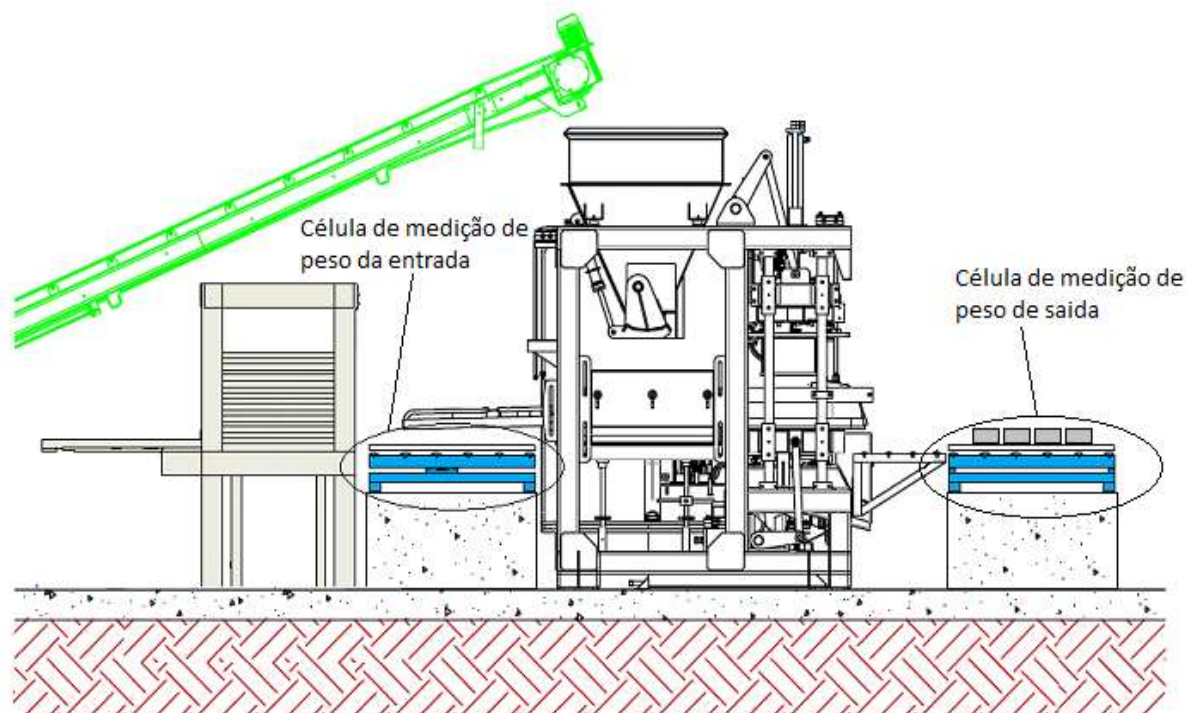


Fonte: SYSTEMS, 2010.

Como foi visto nos esboços das células de medição de peso, elas foram desenvolvidas para um protótipo funcional, no entanto, suas dimensões são compatíveis para utilização na linha de produção. Pode-se observar, a seguir (figura 46), a disposição das células em uma linha de produção (Apendice E), na empresa estudada.

As posições em que foi sugerida a inserção das células de medição de peso, não necessitavam de alteração significativa nas disposições das máquinas pré existentes, havendo apenas a necessidade de algumas adequações mecânicas. No entanto, dependendo do nível de automação que poderá ser adotado, as mesmas deverão ser dotadas de roletes tracionados, sensores e outros elementos que, na materialização do projeto, possam a vir se fazerem necessários.

FIGURA 44 - Linha de produção



Fonte: Próprio autor

Na representação do posicionamento das células de medição de peso, vê-se que as mesmas estão como sugestão, fixadas em uma estrutura de concreto, com objetivo de isolar algumas vibrações que possam vir da máquina.

4.4 Diagrama de circuitos do sistema eletrônico

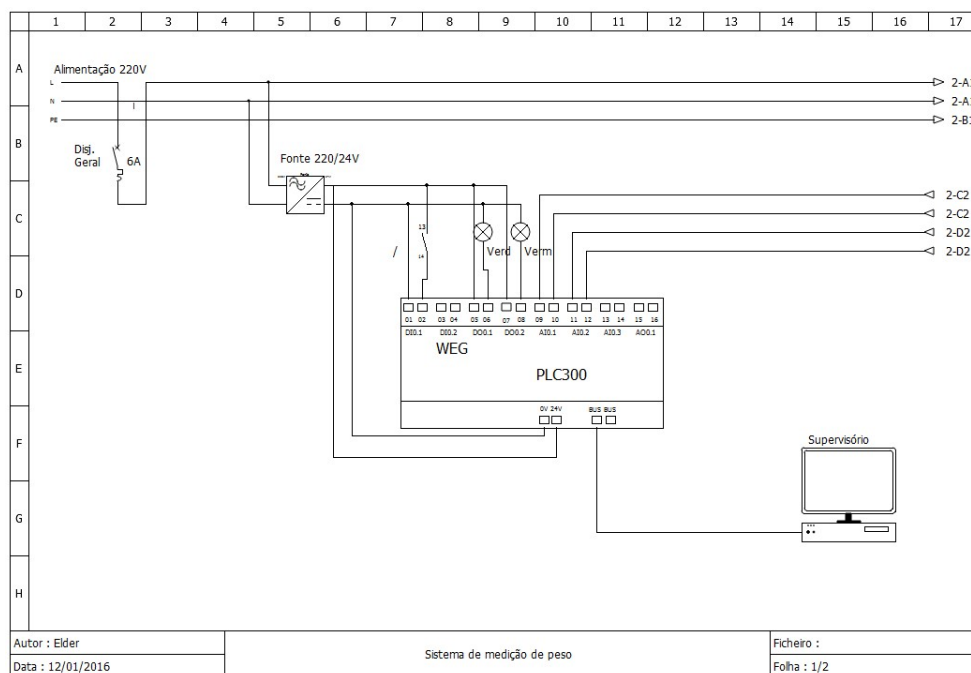
O desenvolvimento do sistema eletrônico do projeto contempla a montagem do painel elétrico para abrigar o CLP, os componentes que dão suporte, e o amplificador de sinal das células de carga.

O esboço do circuito elétrico representa o que foi implementado a fim de conseguir realizar as leituras de valores do protótipo funcional. Como se trata de um protótipo, a implementação deu-se de maneira objetiva, e não houve a necessidade de interligação de comandos elétricos a outros equipamentos da linha para que se tivesse a simulação realizada.

Na primeira página do esquemático (figura 45), apresenta-se os elementos distribuídos, com as respectivas ligações que fazem parte da montagem do painel

elétrico. Com exceção do computador, os demais elementos estão alojados em um mesmo painel (Apêndice F).

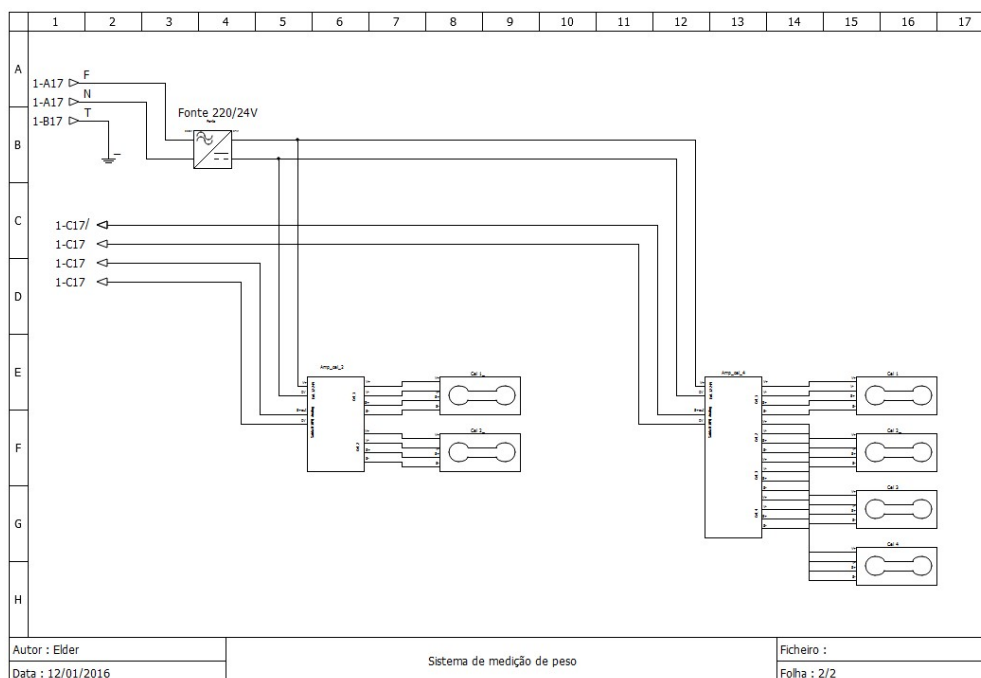
FIGURA 45 – Diagrama do painel elétrico



Fonte: Próprio autor

Estão contidos na representação do circuito o disjuntor geral, a fonte chaveada de 220V para 24V para alimentação do CLP e lâmpadas de sinalização, um botão normalmente aberto para prover um sinal para dar início a um ciclo de medição, dois sinaleiros (um verde e outro vermelho). O sinaleiro verde sinaliza que o pallet está com o peso “correto”, o sinaleiro vermelho sinaliza que o pallet está com o peso abaixo da medida pretendida.

FIGURA 46 – Diagrama de interligação das células de carga



Fonte: Próprio autor

Na segunda página do esquemático (figura 46), tem-se a representação das células de carga das duas balanças, com seus respectivos amplificadores de sinal e a fonte de alimentação de 24V. Estão representadas, também, as ligações das saídas analógicas de 0-10V dos amplificadores ao CLP e as conexões das células de carga.

4.5 Amplificador de sinal

O amplificador de sinal confeccionado para o projeto teve agregado ao seu circuito a função de “caixa de junção”. Esta caixa faz a união de duas ou mais células de carga. Utilizou-se como base o circuito integrado INA125 (cujas características foram abordadas em capítulo anterior) na configuração de fonte simples, como é sugerido na folha de dados do componente, o que facilita a implementação do projeto para essa situação.

O circuito foi idealizado para ser alimentado por uma tensão de 24V e para que tivesse na saída um sinal de 0 a 10V, um tipo de sinal analógico muito utilizado no meio industrial. Vale frisar que a característica da célula de carga é fornecer 2mV/V de sinal na entrada do circuito para ser amplificado. Optou-se por alimentá-las com

10V para se ter, então, até 20mV na entrada do CI para amplificar, desta forma, conseguir uma faixa de valores melhores na escala.

Como se trata de um circuito amplificador, teve-se que ajustar o ganho do amplificador, e para tanto, colocou-se entre os pinos 8 e 9 do circuito integrado INA125 um resistor com o valor correspondente ao ganho desejado. A folha de dados do CI em questão fornece a fórmula matemática (equação 3) utilizada para achar o valor do resistor. Como se quer ter na saída do amplificador a tensão de 10V, para uma entrada máxima de sinal de 20mV, tem-se a partir disso uma relação de 500 vezes. Esse ganho de 500 vezes colocado na fórmula nos dá um valor para o resistor de 120,96 ohms, arredonda-se então para 121 ohms, para encontrar na linha de precisão de 1%.

Equação 3 – Fórmula matemática do ganho

$$G = 4 + \frac{60k\Omega}{R_G}$$

Fonte: TEXAS INSTRUMENTS

Onde:

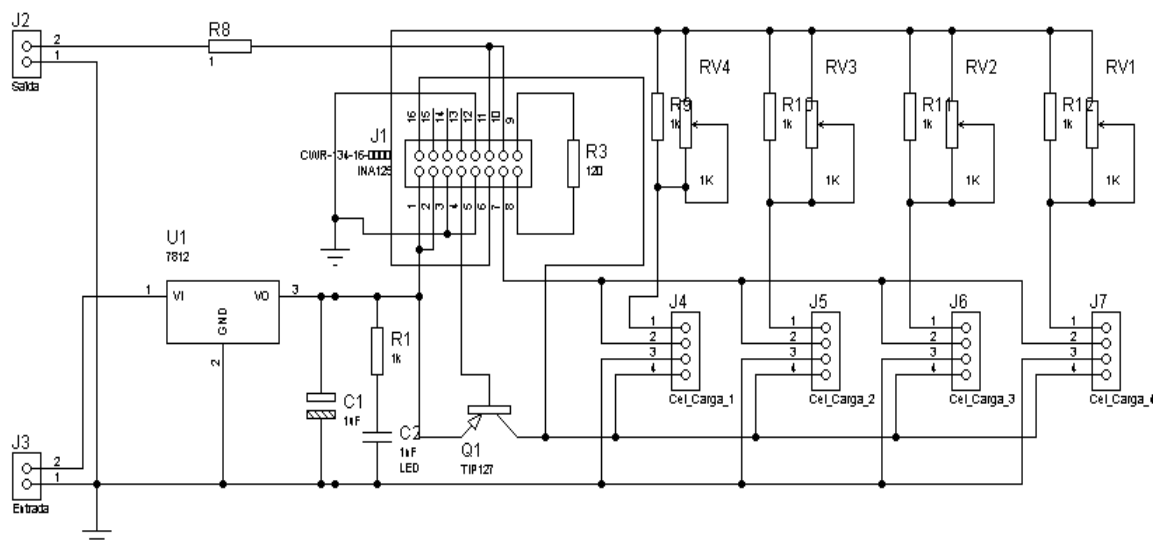
G → É o ganho do amplificador de sinal.

R_G → Resistor que ajusta o ganho do amplificador de sinal.

Dentro da concepção da placa, teve-se a necessidade de baixar o nível de tensão de alimentação de 24V para 12V através do circuito regulador de tensão LM7812, a fim de viabilizar uma tensão adequada às células de carga. No entanto, pela versatilidade do circuito integrado (CI – INA125), trabalhar com uma faixa de tensão que vai de 2,7 a 36V, não foi difícil fornecer tensão para o seu funcionamento.

Para a correta alimentação das células de carga, teve-se que manter a tensão a elas em 10V. O circuito integrado consegue, com conexão direta, fornecer 10V de maneira estável a uma célula de carga. Para mais de uma célula, deve-se lançar mão de um arranjo com transistor externo (Q1) ao CI, como sugerido em seu manual. Esse arranjo foi implementado no circuito como pode ser observado no diagrama (figura 47).

FIGURA 47 – Diagrama do amplificador de sinal



Fonte: Próprio autor

No diagrama anterior pode-se observar como foram arranjadas as conexões da célula de carga. As mesmas são conectadas entre si com ligações em paralelo, como sugerem guias e manuais de aplicação de células de carga, dando origem a um único sinal proveniente da soma das todas as células que estão conectadas.

Como pode-se observar, foram dispostos *trimpot's* (RV1, RV2, RV3, RV4) no circuito, a fim de intervir algum ajuste no sinal proveniente da célula de carga. Esse tipo de ajuste é necessário para uma aferição da balança, apesar de ter-se a carga igualmente bem distribuída na proposta do projeto, é necessário que a balança dê o mesmo resultado quando se coloca uma parcela de sua capacidade total em diferentes pontos da superfície da balança.

Como visto anteriormente, a placa concebida possui ajustes individuais dos sinais provenientes das células de carga. Já o sinal de saída não tem um ajuste de "off set". Optou-se por fazer via software no CLP e deixar a placa mais simples possível com poucas peças móveis que pudessem provocar algum tipo de interferência. Foram confeccionados dois amplificadores de sinais para o projeto, um para quatro células, como mostra o diagrama anterior, e outro para duas células, o que difere são somente duas conexões a menos de células.

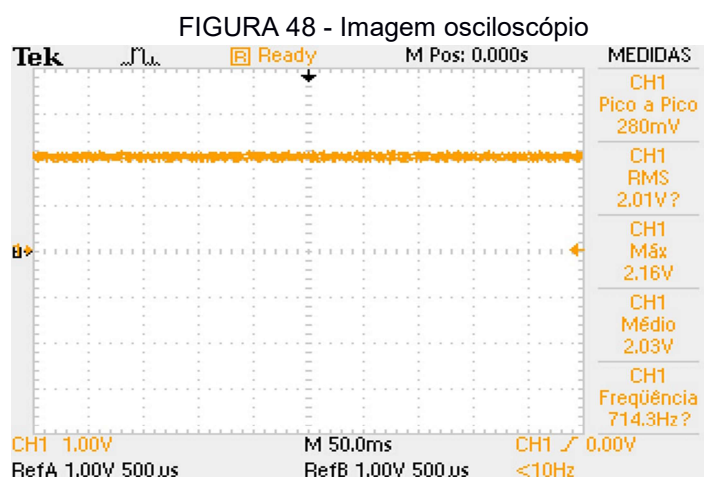
4.5.1 Ruídos

Dentre as dificuldades encontradas, destaca-se a aquisição do sinal proveniente da saída do circuito amplificador, que, por sua vez, é conectado à entrada analógica do CLP. Por tratarem de sinais muito pequenos de 0 a 20mV, oriundo das células de carga, são muito fáceis de sofrerem interferência até chegarem ao amplificador. Apesar do circuito integrado INA125 possuir boa rejeição a ruídos, uma parcela destes confundem-se com o sinal obtido da célula e são amplificados.

Durante a montagem do circuito em bancada, com o uso de osciloscópio, identificou-se um sinal contínuo e estável, porém, ao montar toda a estrutura do projeto, posto em funcionamento com a calibração da balança, observou-se uma aleatoriedade de valores obtidos dentro de um intervalo.

A compreensão do ocorrido se deu ao analisar os dados obtidos pelo osciloscópio (figura 48), apesar de observar-se uma linha contínua e estável, que por sua vez representa o sinal amplificado, essa linha tem imperfeições, um pequeno ruído, chama-se de ruído por ser um sinal indesejado. Esse ruído tem uma amplitude, que se pode observar na imagem onde refere-se à medida “Pico a Pico” um valor de 280mV.

Para compreender melhor o quanto esse valor de ruído atrapalha nos resultados, desenvolveram-se as relações para quantificar. O projeto desenvolvido objetivou medir um peso de até 80kgf, esse mesmo valor tem que ser lido na entrada analógica do CLP 10V. Logo, esse ruído de 280mV corresponde a 2,24kgf, pode-se assim dizer um erro muito grande

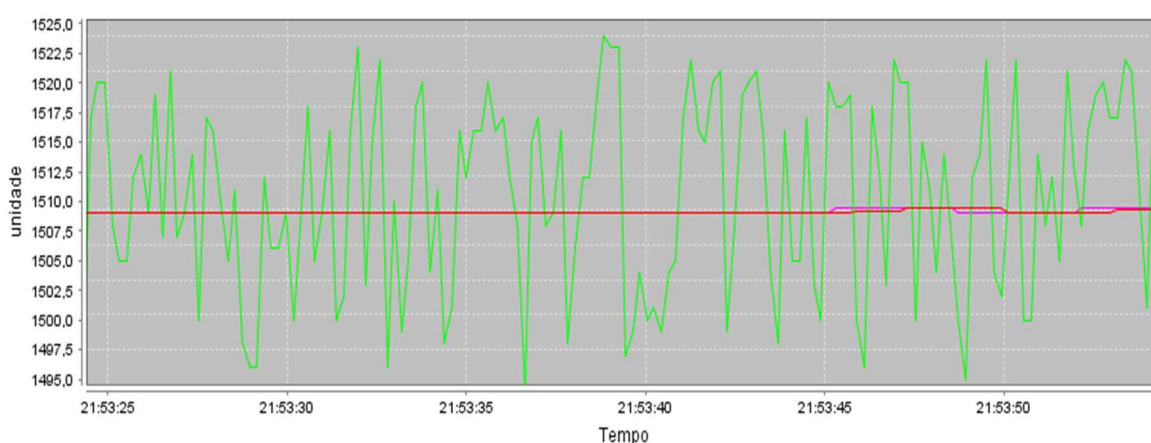


Fonte: Próprio autor

Foram implementados, via programação no CLP, alguns métodos com o intuito de controlar esse erro. O primeiro foi utilizar um bloco “*Ladder*” de filtro passa baixa, utilizado para esse tipo de situação para entradas analógicas. Este filtro suavizou, porém, não resolveu o problema. A segunda tentativa foi de usar o conceito de média móvel, na qual faz-se a média aritmética de N leituras. Foi implementada uma média com 1000 leituras, mas, mesmo assim, os resultados variavam muito entre si. O terceiro método foi pegar o maior e o menor valor lido em um intervalo de N leituras e fazer a média aritmética. Este foi o método que mais se aproximou de um resultado estável, porém, ainda havia alguns valores instáveis. Por último, optou-se como solução para a obtenção de valores mais estáveis a implementação dos três métodos em cascata: filtro digital, média móvel e média do maior e menor valor.

Para compreender melhor a representatividade do sinal ruidoso, elaborou-se um gráfico (Figura 49) do monitoramento das variáveis pelo software de programação do CLP. A linha verde representa o sinal da entrada analógica, o mesmo sinal observado pelo osciloscópio na figura anterior. A linha vermelha representa a variável de saída dos métodos em cascata, utilizado na entrada da equação para ter o valor em quilogramas. A linha roxa representa uma variável em um estágio anterior a de saída do processo de filtragem.

FIGURA 49 – Análise do comportamento de variáveis pelo software de programação do CLP



Fonte: Próprio autor

Contudo, obteve-se, através das implementações dos algoritmos, condições boas de sinais para serem trabalhados no projeto.

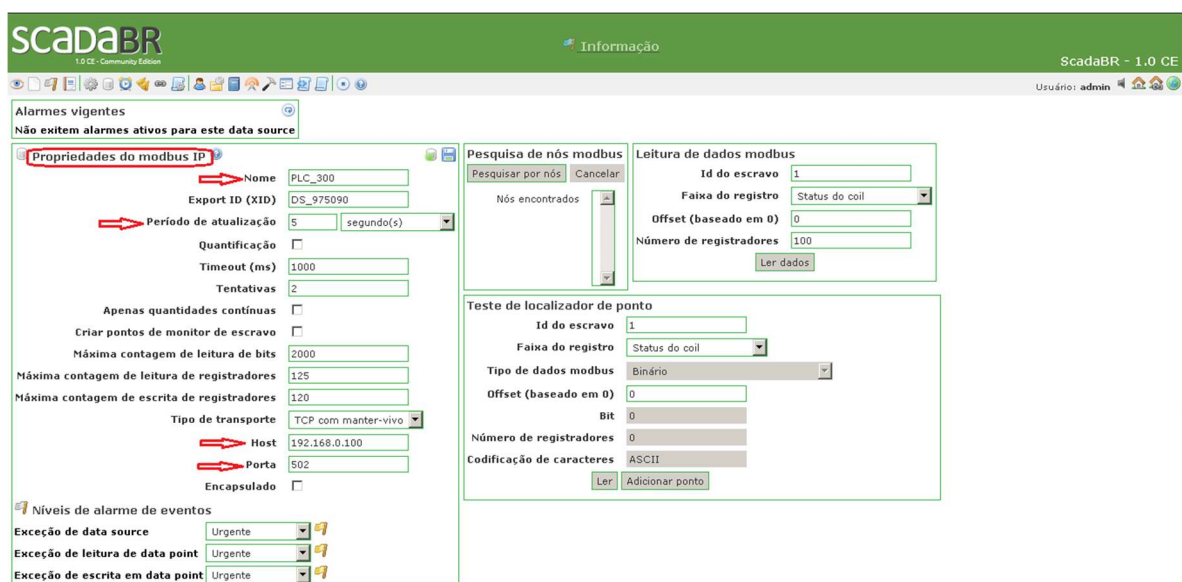
4.6 Ferramenta de supervisão

Esta parte do trabalho descreve o desenvolvimento do supervisório na ferramenta ScadaBr. Demonstrando a configuração do protocolo de comunicação, data points, e a tela de interação com o usuário.

Para que o supervisório possa estabelecer comunicação com o CLP, há a necessidade de configurar o protocolo de comunicação. Neste sentido, foi criado um “*data source*” (tradução direta “fonte de dados”) dentro da ferramenta de desenvolvimento, o qual constituiu parte imprescindível da aplicação. Dá-se um nome a ele para reconhecê-lo em outras partes do sistema, e assim escolher o protocolo que o mesmo vai trabalhar. Como destacado anteriormente, optou-se pelo *Modbus* TCP/IP.

A partir dessa configuração inicial, passou-se, então, à configuração do protocolo propriamente dito, que foi objetiva e sucinta. Quatro parâmetros foram suficientes para aplicação do trabalho, como pode ser observado na sequência (figura 53).

FIGURA 50 – Configuração do “*data source*”



Fonte: Próprio autor

Na imagem anterior, pode-se observar os pontos destacados, o “nome” do “*data source*” no qual foi atribuído “PLC_300”; na sequência, o “Período de atualização” ao qual foi atribuído 5 segundos; após o “*host*” (tradução direta,

“anfitrião”, aqui representado pelo CLP) com endereço IP do tipo 192.168.0.100; e, por fim, a porta de comunicação com o valor de “502”, que é padrão do protocolo *Modbus*.

Realizada a configuração do “*data source*”, passou-se à criação e à configuração dos “*data points*”, ponto no qual é armazenado os valores das variáveis monitoradas do CLP. No trabalho elencaram-se sete variáveis que pudessem representar as informações das condições de produção: “*Maior_peso*”, “*Menor_peso*”, “*Pallet_bom*”, “*Pallet_ruim*”, “*Peso_líquido*”, “*Peso_referência*” e “*Total_pallet*”.

Na configuração dos “*data points*”, houve a necessidade de configuração de cinco quesitos, como observa-se na figura (figura 51). Todos eles são importantes para o funcionamento, no entanto, o quesito “*Offset*” demandou uma atenção maior. O valor a ser configurado nesse ponto corresponde ao endereço de memória da variável desejada no CLP, no entanto, cada tipo de variável corresponde a uma faixa de endereço de memória reservada ao protocolo *Modbus*. Para essa configuração, foi necessária a consulta do manual específico do protocolo do CLP escolhido.

FIGURA 51 – Configuração dos “*data points*”

Data points						Detalhes do data point
Nome	Tipo de dado	Status	Escravo	Faixa	Offset (baseado em 0)	
Maior_peso	Numérico		2	Registrador holding	8024	
Menor_peso	Numérico		2	Registrador holding	8028	
Pallet_bom	Numérico		2	Registrador holding	8021	
Pallet_ruim	Numérico		2	Registrador holding	8022	
Peso_liquido	Numérico		2	Registrador holding	8030	
Peso_referencia	Numérico		2	Registrador holding	28010	
Total_pallet	Numérico		2	Registrador holding	8026	

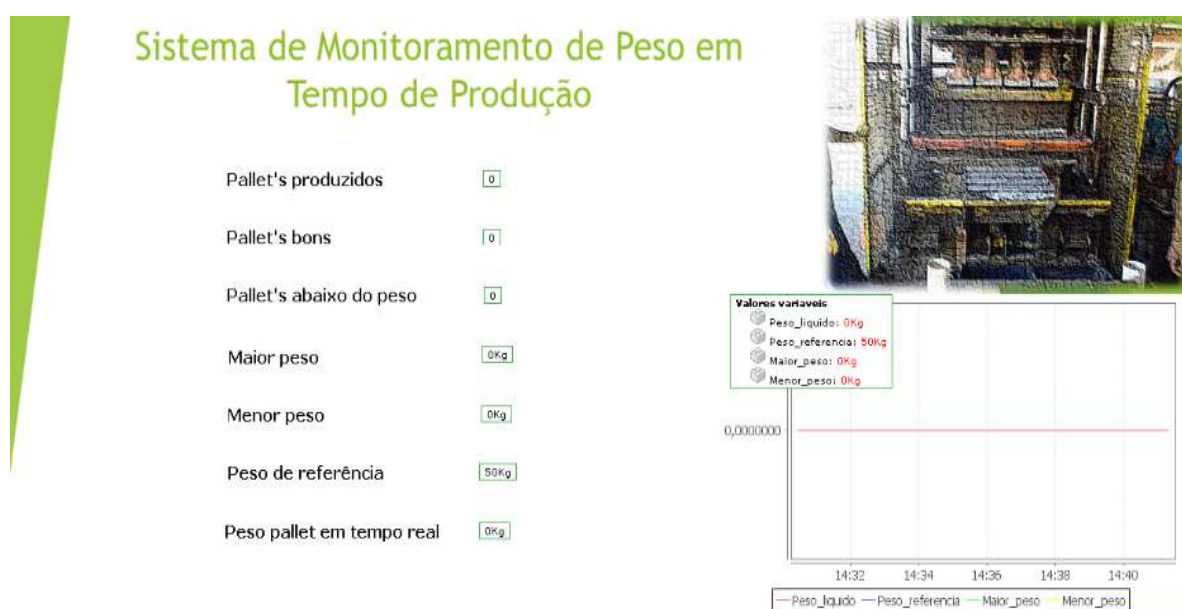
Nome	Maior_peso
Export ID (XID)	DP_607667
Id do escravo	2
Faixa do registro	Registrador holding
Tipo de dados modbus	Float trocado de 4 bytes
Offset (baseado em 0)	8024
Bit	0
Número de registradores	0
Codificação de caracteres	ASCII
Configurável	<input type="checkbox"/>
Multiplicador	1
Aditivo	0

Fonte: Próprio autor

Com os “*data points*” configurados, passou-se a desenvolver a tela de interação com o usuário do supervisório propriamente dito. A ferramenta proporciona uma série de possibilidades de interação com o sistema a ser automatizado. Contudo, no trabalho desenvolvido, toda parte de cálculo foi realizado no CLP (Apêndice C), ficando a cargo do supervisório mostrar e armazenar os resultados.

Com isso, a tela de interação com o usuário foi composta de informações das sete variáveis anteriormente citadas e de um gráfico para demonstrar o comportamento dos valores das variáveis em tempo real, cuja disposição ficou conforme vê-se a seguir (figura 52). O período de atualização dos valores para o usuário se dá conforme o tempo configurado no “data source”, no item “Período de atualização” (5 segundos). A ferramenta de desenvolvimento permite que os valores de cada atualização fiquem armazenados no banco de dados do supervisório, para posteriormente serem consultados através dos relatórios.

FIGURA 52 – Tela principal de interação com o usuário



Fonte: Próprio autor

Durante o desenvolvimento da tela de representação gráfica, percebeu-se uma característica da ferramenta quanto ao tamanho da fonte dos caracteres a serem utilizados. Ao inserir um texto em “HTML”, consegue-se formatar o mesmo inserindo alguns parâmetros, no entanto, ao inserir uma “*data point* simples” que irá representar os valores das variáveis, o mesmo não propicia essa formatação. Foi investido algum tempo nesse sentido, em manual, e fóruns, mas sem uma solução aparente, contudo, não causou nenhum demérito e elaboração da representação gráfica.

Para uma análise da produção, além das informações em tempo real, o supervisório permite que sejam avaliadas as informações através de relatórios. Esses relatórios são gerados por uma ferramenta do supervisório que realiza essa

compilação dos dados. No entanto, por ser uma ferramenta que abrange uma gama grande de aplicações, os resultados gerados pela ferramenta de relatório se mostra muito genérica, por vezes, informações até confusas se não executadas com atenção.

5 RESULTADOS

Essa parte do documento visa mostrar os resultados das medições dos ensaios realizados no sistema de medição. Os testes procuram conhecer as características metrológicas do sistema, a fim de entender se este sistema atende o que foi proposto no projeto.

Dessa maneira, dentro dos ensaios, procurou-se levantar parâmetros que pudesse conhecer melhor o comportamento do sistema como: média, desvio padrão, tendência, correção, incerteza, incerteza combinada, repetibilidade e tempo de resposta.

Para a realização dos ensaios, foram utilizados elementos que se aproximassem da realidade da medição na indústria. Além dos pallets com as mesmas dimensões, utilizou-se os dezesseis blocos de concreto que são prensados a cada ciclo de máquina, retirados da linha de produção. No entanto, os blocos de concreto que diferenciam pelo fato de que os mesmos estão secos, para que pudessem ser manuseados, contudo, um pouco mais leves do que os recém prensado, o que não compromete os resultados dos ensaios.

Durante algumas medições preliminares, percebeu-se que a estabilização do resultado medido levou algum tempo, algo em torno de 10 segundos, fato este devido ao algoritmo adotado para suavização dos ruídos na leitura do sinal. Inicialmente, este algoritmo objetivou uma leitura estável, evitando a apresentação de variações de resultado que pudessem colocar dúvidas nas leituras realizadas.

Foram realizados cinco momentos de leituras, em cada momento uma série de 20 repetições para compor uma análise de comportamento daquele momento. A escolha dos cinco momentos de leitura deu-se a partir da leitura preliminar de 10 segundos. Foram dois momentos com tempos maiores, com 12 e 14 segundos, e dois momentos com tempo menores com 8 e 7 segundos (Apêndice G). Com essas informações foi possível compor uma tabela para análise do desempenho do sistema de medição, como é mostrado a seguir.

TABELA 4–Características do sistema de medição em tempo de respostas distintos

Resposta (kgf)	7s	8s	10s	12s	14s
X	45,38	47,73	52,71	52,84	52,83
S	4,496	4,817	0,112	0,060	0,064
Tendência	-7,802	-5,452	-0,472	-0,342	-0,357
Correção	7,802	5,452	0,472	0,342	0,357
Incerteza padrão	4,496	4,817	0,112	0,060	0,064
Repetibilidade	9,624	10,311	0,240	0,128	0,137
Incerteza com.	9,625	10,311	0,241	0,131	0,140

Fonte: Próprio autor

O VVC⁵ (valor verdadeiro convencional) tomado na realização dos cálculos foi 53,182kgf, é o que aparece na planilha de dados (Apêndice E). Percebe-se, através do parâmetro de incerteza padrão da tabela, que os momentos de respostas em 7s e 8s são muito grandes, fazendo com que os valores lidos nesses momentos estejam distantes do esperado.

A seguir estão descritos os métodos usados para calcular os resultados, no qual foram as seguintes equações:

Desvio padrão:

Equação 4 – Desvio padrão

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n - 1}}$$

Fonte: Adaptado (ALBERTAZZI, 2008)

Onde:

s → Desvio padrão da amostra

I → I-ésima indicação

\bar{I} → Média das “n” indicações

n → Números de medições repetidas efetuadas.

⁵ É uma estimativa suficientemente próxima do valor verdadeiro do mensurando (ALBERTAZZI, 2008, p.47).

Tendência:

Equação 5 – Tendência

$$Td = \bar{I} - VVC$$

Fonte: Adaptado (ALBERTAZZI, 2008)

Onde:

Td → Tendência

\bar{I} → Média de um número finito de indicações

VVC → Valor verdadeiro convencional.

Correção:

Equação 6 – Correção

$$C = -Td$$

Fonte: Adaptado (ALBERTAZZI, 2008)

Onde:

C → Correção

Td → Tendência.

Incerteza padrão:

Equação 7 – Incerteza padrão

$$u = s$$

Fonte: Adaptado (ALBERTAZZI, 2008)

Onde:

u → Incerteza padrão

s → Desvio padrão.

Repetibilidade:

Equação 8 – Repetibilidade

$$Re = t * u$$

Fonte: Adaptado (ALBERTAZZI, 2008)

Onde:

Re → Repetibilidade

t → Coeficiente *t de Student*

u → Incerteza padrão.

Incerteza combinada:

Equação 9 – Incerteza combinada

$$u_c = \sqrt{Re^2 + \left(\frac{R/2}{\sqrt{3}}\right)^2 + u_{ref}^2}$$

Fonte: Adaptado (ALBERTAZZI, 2008)

Onde:

u_c → Incerteza combinada.

Re → Repetibilidade.

R → Resolução do sistema.

u_{ref} → Incerteza da balança de referência.

Os valores de tendência, a parcela dos erros sistemáticos, que por sua vez está previsto no sistema com possibilidade de correção, vão diminuindo com o tempo, e no momento dos 10s há uma diminuição bem expressiva, apresentando a partir desse momento uma maior estabilidade com a presença de pequena variação.

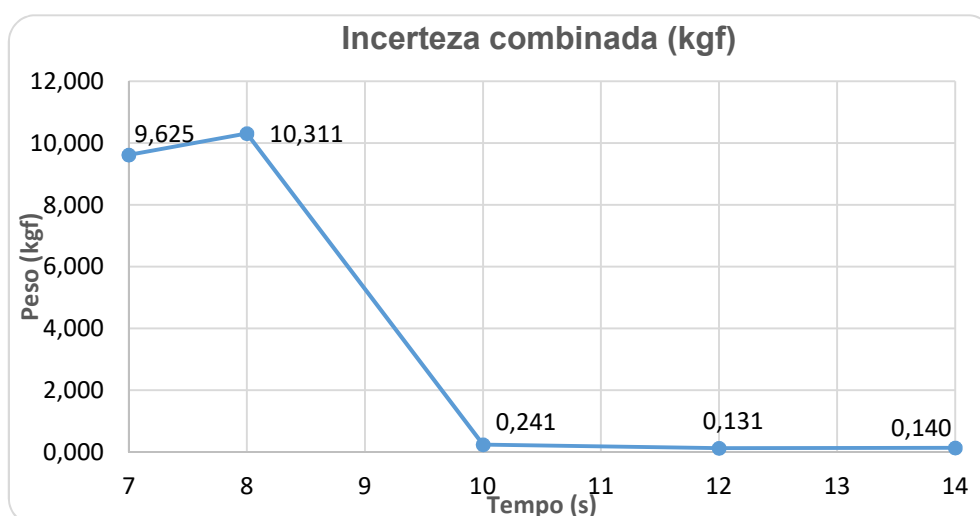
Já a incerteza padrão, a parcela de erros aleatórios, é muito grande no início, conforme identifica-se no segundo momento, em 8s aumentou um pouco ao invés de diminuir como outros parâmetros. Esse aumento decorreu devido a alguns valores dispersos obtidos na série de amostras. No entanto, já no tempo de 10s, há uma diminuição acentuada desses valores. Assim como a tendência, a incerteza manteve-se em valores menores.

A repetibilidade, foi calculada levando em conta as 20 interações da série, obtém-se uma probabilidade de 95,45% que os resultados do momento tenham aquela parcela de erro.

Além da incerteza padrão, tem-se a incerteza combinada, a mesma advém da soma quadrática da repetibilidade com o valor de resolução da escala utilizada no sistema de medição e a incerteza da balança de referência, com isso, se tem valores de erros um pouco maiores como observa-se na tabela. Como a incerteza combinada tem valores maiores do que a incerteza padrão, utiliza-se desta forma a mesma para análise do comportamento do sistema de medição.

No gráfico a seguir (figura 53), pode-se observar o comportamento dos valores de incerteza combinada, que, a partir dos 10s, além de diminuir expressivamente, mantiveram-se ao passar do tempo.

FIGURA 53 – Gráfico da incerteza / Tempo de resposta do sistema



Fonte: Próprio autor

A incerteza combinada de 241gf no tempo de 10s refere-se a um erro na leitura de um valor de 53,182kgf, que é o peso do pallet com os 16 blocos de concreto, que em porcentagem corresponde a 0,45% do peso do pallet. Percebe-se que o valor da repetibilidade no momento de 10s, que é 240gf é o principal componente que se destaca como o erro do sistema, entretanto, demonstrando-se um erro pouco expressivo.

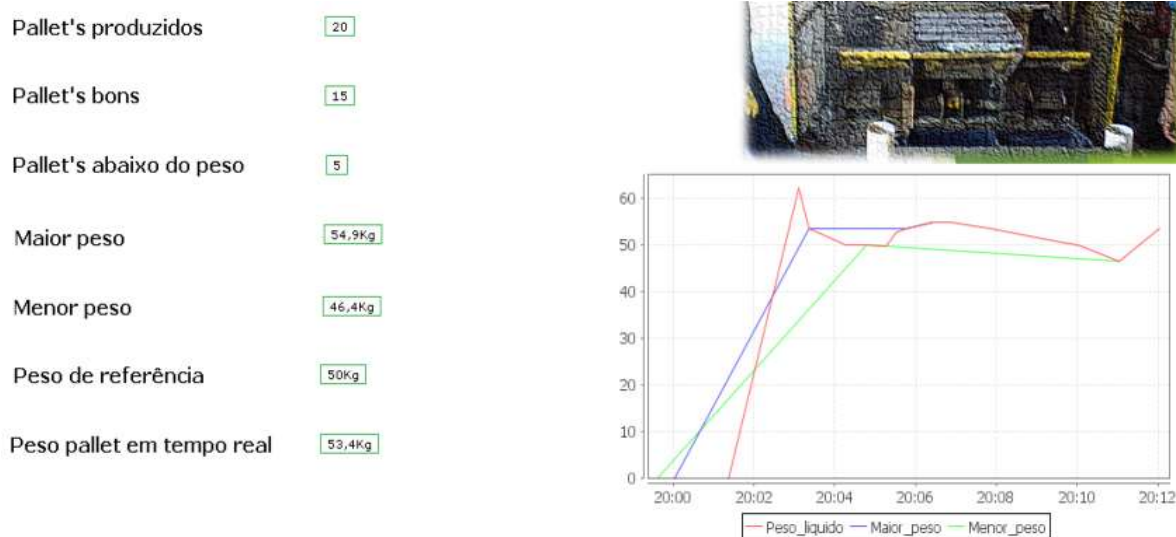
Apesar de ter um tempo de resposta de 10s para que se tenha um erro menor, ainda fica dentro dos tempos de ciclos de máquinas semiautomáticas em torno de 24s, o qual foi objeto de análise nesse trabalho.

Durante a realização dos testes, avaliou-se concomitantemente a atuação da tela de interação com o usuário do supervisor, o que proporcionou resultados condizentes com o esperado, as informações em tempo real conforme configurações realizadas.

No entanto, os relatórios, apesar de intuitivos ao serem requisitados ao sistema, as informações neles contidas por vezes parecem confusas, se analisar somente os números fornecidos. Contudo, ao analisar o gráfico do comportamento da variável, ficam bem mais evidentes os resultados, como vê-se a seguir.

Foi realizado um pequeno ensaio para demonstrar os resultados em tempo real obtidos da tela do usuário (figura 54) com os dados obtidos posteriormente através dos relatórios.

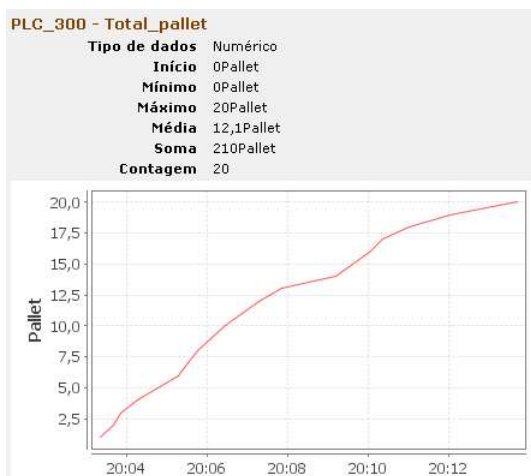
FIGURA 54 – Interface do usuário no supervisor



Fonte: Próprio autor

Na figura 55 apresenta o relatório da variável “Total_pallet”, que representa o número de pallets produzidos. Tem-se informações indesejadas como “média” e “soma” que não agregam ao resultado desejado, só o item “máximo” condiz com o esperado.

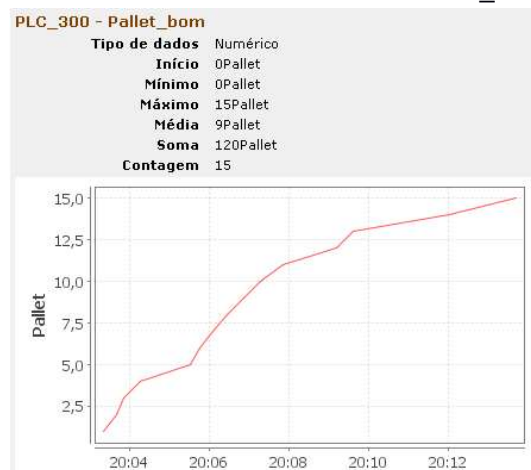
FIGURA 55 – Relatório da variável “Total_pallet”



Fonte: Próprio autor

Na variável “Pallet_bom” (figura 56), que representa o número de pallets bons produzidos, segue as mesmas condições da variável anterior, e o gráfico demonstra bem o comportamento dos dados.

FIGURA 56 - Relatório da variável “Pallet_bom”

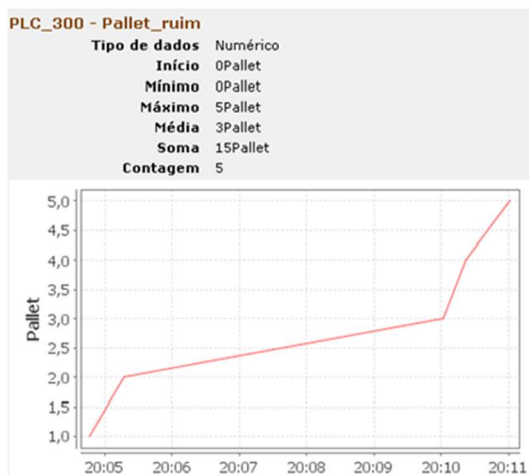


Fonte: Próprio autor

A variável (

figura 57) que representa o número de pallets produzidos abaixo do peso desejado também traz itens que não agregam muita informação.

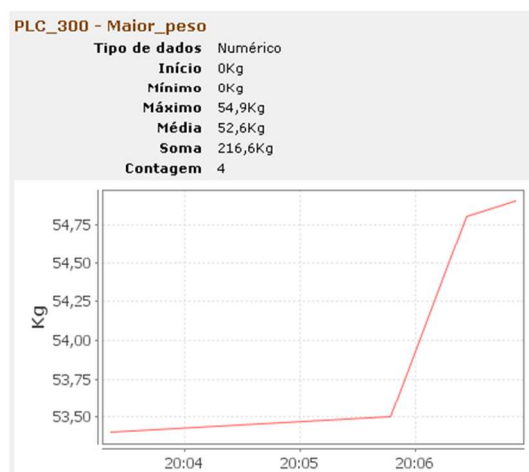
FIGURA 57 – Relatório da variável “Pallet_ruim”



Fonte: Próprio autor

Na sequência (figura 58), representa o comportamento dos pesos tidos como maiores no decorrer da produção. Nessa variável se poderia usufruir do relatório a informação “média”, no entanto, o valor não condiz se calcular com as próprias informações oferecidas pelo relatório. Nesse quesito, o gráfico fornece uma melhor informação.

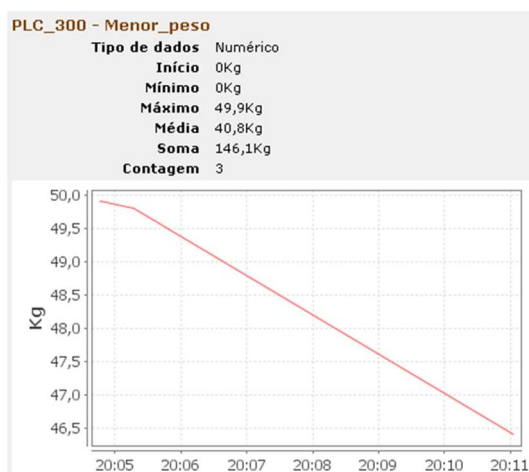
FIGURA 58 – Relatório da variável “Maior_peso”



Fonte: Próprio autor

Já na variável “Menor_peso”, o valor desejado deveria ficar representado no quesito “mínimo”, no entanto, o menor valor medido de um pallet nunca vai ser inferior à inicialização da variável, que é zero. O que é mostrado no item “máximo” seria o maior valor dos menores valores lidos, contudo, nessa variável o gráfico (figura 59) fornece melhor a informação.

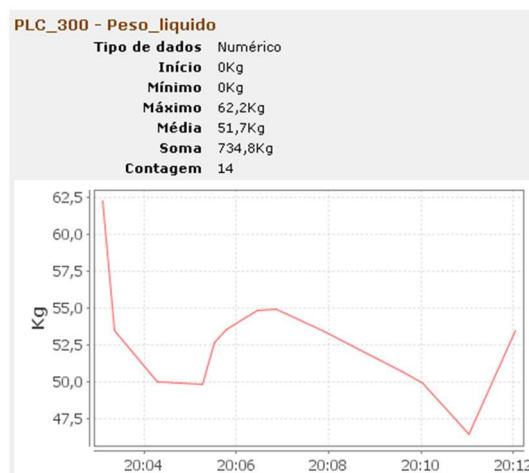
FIGURA 59 – Relatório da variável “Menor_peso”



Fonte: Próprio autor

Por fim, a variável “Peso_liquido”, que representa os valores de todos pallets produzidos, assim como as variáveis iniciais, os quesitos que são fornecidos no relatório não correspondem com o obtido na tela de interação com o usuário, ficando no gráfico (figura 60) uma melhor interpretação dos valores.

FIGURA 60 – Relatório da variável “Peso_liquido”



Fonte: Próprio autor

No entanto, todas as informações estão armazenadas no banco de dados do supervisor, com possibilidade de ser exportada para um outro software, para que ele possa trabalhar esses dados de outra forma se assim o preferir. Entretanto, o que foi apresentado pelos gráficos é uma análise atenciosa nos números fornecidos no relatório, e supre de modo suficiente para uma análise posterior da produção.

Diante dos aspectos apresentados, concluí-se que o sistema de medição em tempo real de produção poderá ser aplicado na linha de produção objetivando uma análise das condições de qualidade dos blocos produzidos, impactando em uma produção diária aproximada de 2.000 blocos de concreto para pavimentação na empresa analisada.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho de pesquisa desenvolveu um protótipo de um sistema automatizado para medição de peso de bloco de concreto para pavimentação em tempo real. O sistema é composto de duas células de medição de peso conectadas a um CLP, o qual propicia o acesso das informações em tempo real por um supervisor.

Durante a delimitação das características que o sistema de medição deveria contemplar, observou-se, na caracterização da linha de produção, o quanto cada etapa que compõe o processo influencia no produto final. Apesar da semelhança do processo de fabricação do bloco de concreto dentre as indústrias do seguimento, para atingir um nível de qualidade, os ajustes e modificações são únicos para cada linha de produção.

As estruturas mecânicas desenvolvidas para as células de medição responderam à altura das expectativas do projeto. Com uma estrutura rígida e regularidade de sua geometria, não houve maiores transtornos nas instalações das células de carga. Houve somente a necessidade de pequenos ajustes de sinal, os quais foram realizados no circuito amplificador do sinal, o qual é inerente a qualquer processo de calibração.

Já a confecção do amplificador do sinal das células de carga supriu as necessidades. Apesar de se usar um circuito integrado com boa rejeição a ruído, não foi suficiente para ter um sinal isento de ruídos. Contudo, alguns artifícios utilizados na programação do CLP, como filtros e medias recursivas, resolveram tal situação.

A ferramenta de desenvolvimento de supervisor ScadaBr atendeu bem as expectativas para o projeto. A configuração do protocolo Modbus TCP para comunicação com o CLP se deu de maneira simples e objetiva, assim como o desenvolvimento da tela de interação com o usuário, porém, os relatórios disponibilizados pela ferramenta de desenvolvimento poderiam ter mais opções de apresentação ao usuário. De modo que se percebeu que essa parte da ferramenta de desenvolvimento é pouco versátil.

Os resultados obtidos pelo sistema de medição em fases de testes mostraram-se em condições de suprir as necessidades para a qual foi idealizado. O tempo de resposta foi uma variável importante nas análises dos dados, que influenciou diretamente nas características do sistema, que foi obtido em 10s como o menor

tempo para que se tivesse respostas de medições aceitáveis. Tempo este bem inferior ao ciclo da máquina da produção analisada.

Outras características importantes como a incerteza que representa o erro aleatório, ficou em 112g, já incerteza combinada, que representa a soma quadrática do erro aleatório com a escala de divisão, demonstra um erro pouco maior de 123g ou 0,23%. No entanto, a repetibilidade ficou em 240g ou 0,45%, ficando assim representada como o maior erro do sistema de medição.

Com as características do sistema de medição identificadas, o protótipo ainda precisará de alguns acertos mecânicos para que possa ser instalado na linha de produção. O posicionamento de uma célula de medição de peso na parte de trás da vibro prensa, onde entraria o pallet e mediria o peso do pallet vazio, teria necessidade de ser automatizada. Já a célula de medição de peso que realiza a leitura do peso do pallet com blocos recém prensados deve ser posicionada logo à frente da vibro prensa. Ambas as células de medição de peso não poderão encostar literalmente na estrutura da máquina vibro prensa, a fim de isolar vibrações oriundas da vibro prensa, assim como as suas fixações em estruturas de concreto, com objetivo de diminuir o impacto das vibrações.

A instalação de roletes para que os pallets com ou sem carga possam deslizar, também devem ser feitos. Se a extração do pallet da vibro prensa for manual, o operador deve posicioná-lo em cima da mesma. Logo, se a extração for automatizada, deveria dotar a célula de medição com roletes tracionados para que, no momento certo, o sistema pudesse enviar o pallet recém avaliado adiante.

Apurou-se, no desenvolvimento do protótipo do trabalho de pesquisa, que o viés de analisar a qualidade de produção de blocos de concreto para pavimentação pelo seu peso é factível. Assim como a interação do trabalho de pesquisa na linha de produção, através dos ensaios de resistência à compressão, em momentos distintos, instigou na empresa a melhoria da qualidade. Com isso um aumento da qualidade do produto e reaproveitando a matéria prima, propicia a empresa uma resposta financeira melhor.

Com o intuito de seguir em uma melhoria do trabalho aqui desenvolvido, pode-se propor algumas alternativas como:

- Analisar o comportamento do sistema de medição na presença de vibrações, oriundas da vibro prensa;

- Realizar a leitura individual do sinal das células de carga, para observar a distribuição de peso das peças sobre o pallet.
- Verificar as possibilidades de incluir um sistema para medir a altura média das peças produzidas, auxiliando na determinação do volume médio das peças de cada pallet.
- Avaliar o impacto nos resultados de medições, utilizando somente a segunda célula de medição de peso, pressupondo que o peso do pallet vazio não varie e seja fixo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Renato Araújo. **Perdas no processo produtivo**. Rio de Janeiro. 2002. 29f. Disponível em: <http://www.inovacaoedesign.com.br/artigos_cientificos/perdas_no_processo_produtivo.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2015.

AGILENT. **Resolvendo Problemas em Aplicações de Célula de Carga com a Solução de Conectividade Sem Fio da Agilent**. Disponível em: <<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5990-9941PTBR.pdf>>. Revisado: 7 de maio de 2012. Acesso em: 17 fev. 2015.

ALBERTAZZI, Armando; SOUZA, André R. de. **Fundamentos de metrologia científica e industrial**. São Paulo: Ed. Manole, 2008. 407 p.

ALBUQUERQUE, Pedro U. B. de. **Redes Industriais: aplicações em sistemas digitais de controle distribuído: protocolos industriais, aplicações SCADA**. 2 ed. São Paulo, 2009. 258 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Regulamento Selo da qualidade ABCP: programa da qualidade para produtos à Base de Cimento**. Disponível em: <<http://www.blocobrasil.com.br/downloads/file/1-selo-da-qualidade-abcp-regulamento>>. Acesso em: 08 jan. 2015.

_____. **Manual de pavimento intertravado: Passeio Público**. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://blocobrasil.com.br/downloads/file/19-manual-de-pavimento-intertravado>>. Acesso em: 11 fev. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR09780: Peças de Concreto para Pavimentação, Determinação da Resistência Compressão: Método de Ensaio**. Brasília, 1987. 3 p.

_____. **NBR09781: Peças de Concreto para Pavimentação: Especificação**. Brasília, 1987. 4 p.

_____. **NBR09781(2013): Peças de Concreto para Pavimentação: Especificação**. Brasília. 2013. 21 p. Disponível em: <<http://sinprocimes.org.br/download/NORMA%20ABNT%20NBR%209781%20PISOS.pdf>>. Acesso em: 07 out. 2015.

_____. **NBR11768 (2011): Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos**. São Paulo. 2011. 19 p. Disponível em: <<http://www.abntcolegao.com.br/java/viewnormajava.aspx?Q=C6A3237A571F525736EA60C1B50F879EB3AA42AE13A82903&Req=>>>. Acesso em: 21 out. 2016.

BOLTON, William. **Mecatrônica: uma abordagem multidisciplinar**. 4ed. Porto Alegre: Bookman, 2010. 664 p.

CORRÊA, Rute Roberta. **Proposta De Metodologia De Controle De Qualidade De Peças De Concreto Para Pavimentação**. 2013. 303 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade

Federal de Santa Catarina, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/106786>>. Acesso em: 23 set. 2015.

DURÃO, Fábio Prudente. **Uma Proposta de Desenvolvimento de Laboratório Remoto de Automação e Acionamento de Máquinas Elétricas para Uso Didático, Utilizando Software Open Source**. 2003. 106 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://acervodigital.unesp.br/handle/unesp/165216>>. Acesso em: 10 set. 2015.

FRANCHI, Claiton M.; CAMARGO, Valter L. A. de. **Controladores Lógicos Programáveis – Sistemas Discretos**. 2 ed. São Paulo: Érica, 2009. 352 p.

GALLINA, Renato. **Os Extensômetros Elétricos Resistivos: Evolução, Aplicações e Tendências**. 2003. 74 f. Monografia (Especialista em Mecatrônica) - Curso de Pós-Graduação Latu Sensu em Mecatrônica, Universidade São Judas Tadeu, São Paulo. 2003. Disponível em: <<http://www2.dem.inpe.br/mcr/Orient/pdf/RenatoGallina.pdf>>. Acesso em: 28 jun. 2015.

GEFRAN. **Célula de Carga por Deflexão**. Disponível em: <<http://www.gefran.com/de/download/3204/attachment/PT>>. Acesso em: 21 jan. 2015.

HBM. **Células de Carga da HBM**. Disponível em: <<http://www.hbm.com/pt/0013/celulas-de-carga>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

_____. **Caixa de junção VKK2-8**. Disponível em: <<http://www.weightech.com.br/datasheet/caixa-juncao-vkk28-datasheet.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2015.

HULLER, Israel. **Sistema De Atuação E Supervisão Para Segurança De Ambientes Remotos**. 2014. 95 f. Monografia (Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos) – Curso de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Florianópolis, 2014. Disponível em: <http://www.professorpetry.com.br/Ensino/Defesas_Pos_Graduacao/Defesa%2048_Israel%20Huller_Sistema%20de%20Atuacao%20e%20Supervisao%20Para%20Seguranca%20de%20Ambientes%20Remotos.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2015.

JOAQUIM, Ricardo Cezar. **Novas tecnologias para comunicação entre o chão de fábrica e o sistema corporativo**. 2006. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18135/tde-26112006-232833/pt-br.php>>. Acesso em: 10 set. 2015.

KREMER, Alexandre. **Pesonet: Qualidade, Pesagem e Conectividade, um estudo de caso**. 2008. 98 f. Monografia (Pós-Graduado Latu Sensu) – Curso de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

MARCHIONI, Mariana Lobo. **Desenvolvimento de técnicas para caracterização de concreto seco utilizado na fabricação de peças de concreto para pavimentação**

intertravada. 2012. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP, São Paulo. 2012.

MOREIRA, Odair; **Estudo Sobre Sistemas de Pesagem**. 2005. 68 f. Monografia (Especialização em Mecatrônica) – Curso de Pós-Graduação Latu Sensu em Mecatrônica, Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www2.dem.inpe.br/mcr/Orient/pdf/Odair.pdf>>. Acesso em: 27 jun. 2015.

NATIONAL INSTRUMENTS. **Medições de carga: Guia Prático**. Publicação: 22 ago. 2013. Disponível em: <<http://www.ni.com/tutorial/7138/pt/>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

_____. **Medindo distensão com StrainGauges**. Publicação: 09 de janeiro de 2013. Disponível em: <<http://www.ni.com/white-paper/3642/pt/>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

OLIVEIRA, Alexandre Lima de. **Contribuição para a dosagem e produção de peças de concreto para pavimentação**. 2004. 250 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Curso de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

PIROLA, Fernanda Carvalho. **Contribuição Para O Estudo De Concreto Seco Utilizado Na Fabricação De Peças De Concreto Para Pavimentação De 50mpa**. 2011. 138 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) Departamento da Engenharia Civil, Universidade Federal da Santa Catarina, Florianópolis, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/95668>. Acesso em: 23 set. 2015.

ROCHA, Silvério. **Indústria de blocos: estabilidade em 2015**. Disponível em: <<http://www.revistaprisma.com.br/novosite/noticia.asp?cod=7153>>. Acesso em: 30 dez. 2014.

PUPO, Mauricio Santos. **Interface homem-máquina para supervisão de um CLP em controle de processos através da WWW**. 2002. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18133/tde-11072002-085859/pt-r.php>>. Acesso em: 10 set. 2015.

ROSÁRIO, João Mauricio. **Princípios da Mecatrônica**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

KOZIKOSKI, Matheus B.; RIBEIRO, Victor H. A.; RUFFINI, Leandro A. P. **Projeto de Automação de Um Abrasômetro Tipo Roda-de-Borracha**. 2012. 62 f. Trabalho de conclusão de curso (Tecnólogo em Mecatrônica) – Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, Universidade Tecnológica do Paraná, Curitiba. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/939/1/CT_COMET_2012_2_07.pdf. Acessado em: 27 fev. 2015.

SCADABR. **Cases**. Disponível em: <<http://www.scadabr.com.br/?q=cases>>. Acesso em: 17 ago. 16.

SANTOS, Altair. **ABCP capacita fabricantes de blocos de concreto**. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/abcp-capacita-fabricantes-de-blocos-de-concreto/>>. Acesso em: 08 jan. 2015.

SILVA, Everson Osvanir da. **Proposta De Um CLP De Plataforma Aberta Para Controle Discreto Usando Lógica Programável**. 2013. 86 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Mecatrônica) – Departamento Acadêmico de Metal-Mecânica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <http://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/posmecatronica1/files/2013/09/Mestrado_Everson_final_corrigeo.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2015.

SINAPROCIM. **Faturamento Nacional**. 2012. Disponível em: <<http://sinaprocim.org.br/portal/faturamento-sin/faturamento-nacional-2012/>>. Acesso em: 08 jan. 2015.

TEXAS INSTRUMENTS. **Ficha de dados INA125**. Disponível em: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina125.pdf>. Acesso em: 10 maio 2015.

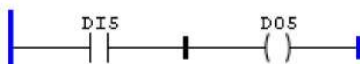
WERKEMA, Maria Cristino Catarino. **As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos**. 5 ed. Belo Horizonte, 1995.

SYSTEMS, Rice LikeWeighing. **Load Cell and Weigh Module Handbook**. Disponível em: <https://www.ricelake.com/docs/prodinfo/Manuals/load-cells/lch_22054.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2014.

APÊNDICE

APÊNDICE A: PROGRAMAÇÃO EM LADDER DO CLP PLC-300 WEG

1:



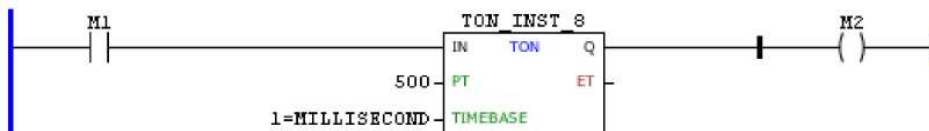
Tag	Group	Datatype	Comment
DI5	GLOBAL_IO	BOOL	Entrada digital 5
DO5	GLOBAL_IO	BOOL	Saída digital 5

2: Temporizador da amostragem de mínimo e máximo



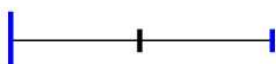
Tag	Group	Datatype	Comment
M1	LOCAL	BOOL	variavel auxiliar no temporizador ciclico
M2	LOCAL	BOOL	
TON_INST_7	LOCAL	TON	

3:



Tag	Group	Datatype	Comment
M1	LOCAL	BOOL	variavel auxiliar no temporizador ciclico
M2	LOCAL	BOOL	
TON_INST_8	LOCAL	TON	

4:



Tag	Group	Datatype	Comment
-----	-------	----------	---------

5: Ent. Analógica 1 - Gerar uma variavel p/ servir de ent. no bloco de passa baixa



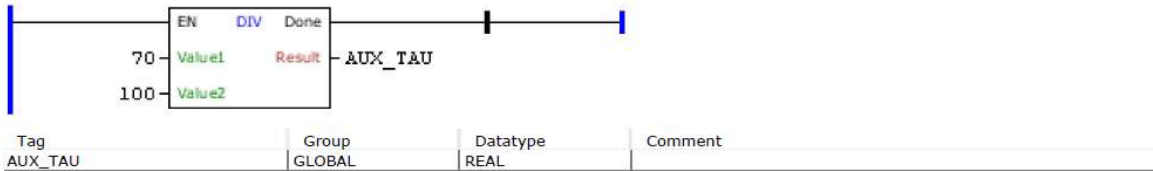
Tag	Group	Datatype	Comment
AI1	GLOBAL_IO	INT	Entrada analógica 1
AUX_ENT	GLOBAL	REAL	

6: Ent. Analógica 2 - gerar uma variavel p/ servir de ent. no bloco de passa baixa

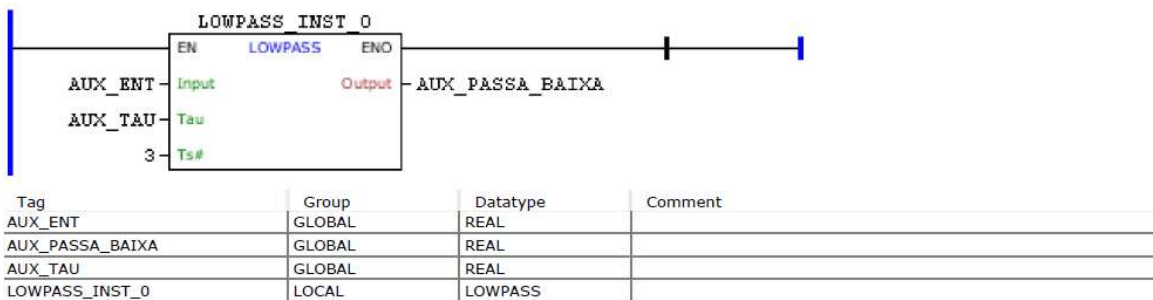


Tag	Group	Datatype	Comment
AI102	GLOBAL_IO	INT	Entrada analógica 2 _ Slot 1
AUX_ENT_2	GLOBAL	REAL	

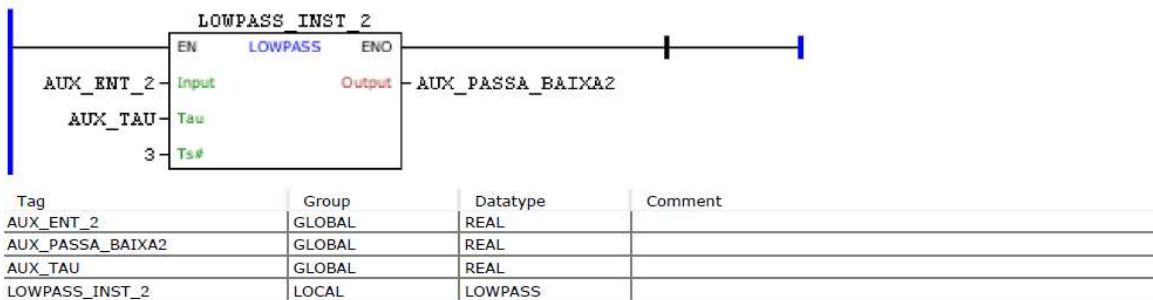
7: Gerar um numero com virgula para colocar na entrada do Tau do filtro passa baixa



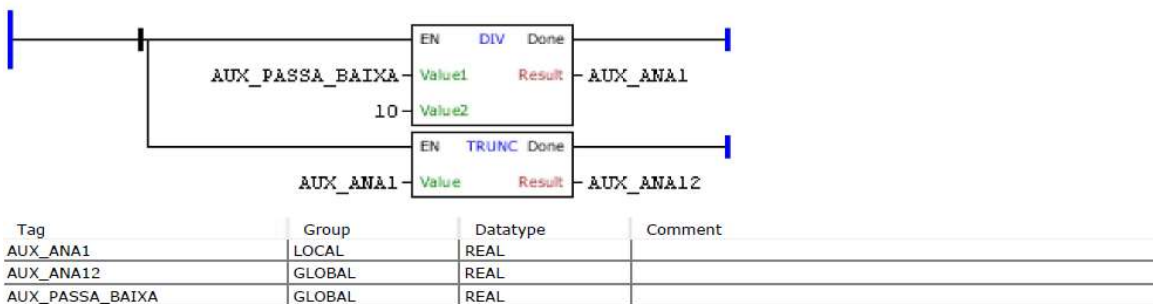
8: Analogica 1 - Filtro passa baixa



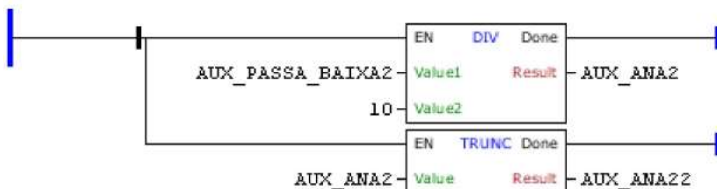
9: Analogica 2 - Filtro passa baixa



10: Analogica 1 - Truncar a ultima casa da entrada analogica

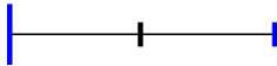


11: Analogica 2 - Truncar a ultima casa da entrada analogica



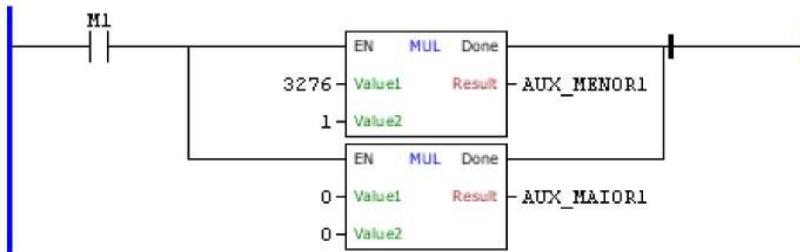
Tag	Group	Datatype	Comment
AUX_ANA2	LOCAL	REAL	
AUX_ANA22	LOCAL	REAL	
AUX_PASSA_BAIXA2	GLOBAL	REAL	

12:



Tag	Group	Datatype	Comment
-----	-------	----------	---------

13: Analogica 1 - Iniciar valores do comparadores de minimo e maximo



Tag	Group	Datatype	Comment
AUX_MAIOR1	LOCAL	REAL	
AUX_MENOR1	LOCAL	REAL	
M1	LOCAL	BOOL	variavel auxiliar no temporizador ciclico

14: Analogica 1- Achar valor minimo



Tag	Group	Datatype	Comment
AUX_ANA12	GLOBAL	REAL	
AUX_ANA1_MIN	LOCAL	REAL	
AUX_MENOR1	LOCAL	REAL	
M1	LOCAL	BOOL	variavel auxiliar no temporizador ciclico

15: Analogica 1 - Achar valor maximo



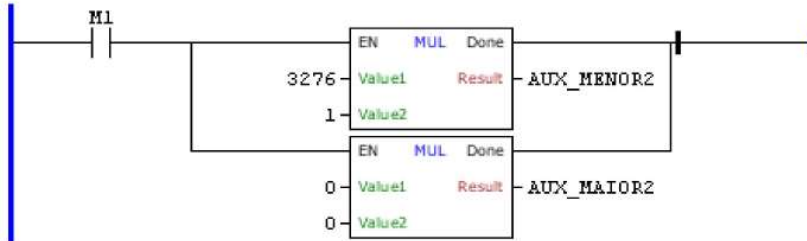
Tag	Group	Datatype	Comment
AUX_ANA12	GLOBAL	REAL	
AUX_ANA1_MAX	LOCAL	REAL	
AUX_MAIOR1	LOCAL	REAL	
M1	LOCAL	BOOL	variavel auxiliar no temporizador ciclico

16: Analogica 1 - Media de minimo e maximo



Tag	Group	Datatype	Comment
AUX_ANA1_MAX	LOCAL	REAL	
AUX_ANA1_MIN	LOCAL	REAL	
AUX_MEDIA_MM	LOCAL	REAL	
AUX_MEDIA_MM_2	LOCAL	REAL	
M1	LOCAL	BOOL	variavel auxiliar no temporizador ciclico
M7	LOCAL	BOOL	

17: Analogica 2 - Iniciar valores do comparadores de minimo e maximo



Tag	Group	Datatype	Comment
AUX_MAIOR2	LOCAL	REAL	
AUX_MENOR2	LOCAL	REAL	
M1	LOCAL	BOOL	variavel auxiliar no temporizador ciclico

18: Analogica 2- Achar valor minimo



Tag	Group	Datatype	Comment
AUX_ANA22	LOCAL	REAL	
AUX_ANA2_MIN	LOCAL	REAL	
AUX_MENOR2	LOCAL	REAL	
M1	LOCAL	BOOL	variavel auxiliar no temporizador ciclico

19: Analogica 2 - Achar valor maximo



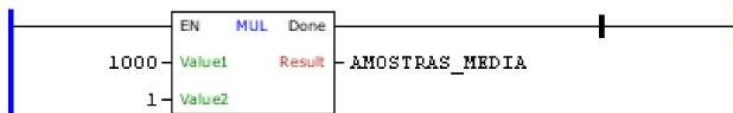
Tag	Group	Datatype	Comment
AUX_ANA22	LOCAL	REAL	
AUX_ANA2_MAX	LOCAL	REAL	
AUX_MAIOR2	LOCAL	REAL	
M1	LOCAL	BOOL	variavel auxiliar no temporizador ciclico

20: Analogica 2 - Media de minimo e maximo



Tag	Group	Datatype	Comment
AUX_2MEDIA_MM	LOCAL	REAL	
AUX_2MEDIA_MM_2	LOCAL	REAL	
AUX_ANA2_MAX	LOCAL	REAL	
AUX_ANA2_MIN	LOCAL	REAL	
M1	LOCAL	BOOL	variavel auxiliar no temporizador ciclico

21: Analogica 1 e 2 - Media recursiva



Tag	Group	Datatype	Comment
AMOSTRAS_MEDIA	LOCAL	REAL	

22: Analogica 1 - Media recursiva



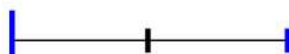
Tag	Group	Datatype	Comment
AMOSTRAS_MEDIA	LOCAL	REAL	
AUX_CONT	LOCAL	REAL	
AUX_MEDIA_1	LOCAL	REAL	
AUX_MEDIA_MM_2	LOCAL	REAL	
AUX_MEDIA_PARC	LOCAL	REAL	
M1	LOCAL	BOOL	variavel auxiliar no temporizador ciclico
M10_MR	LOCAL	BOOL	

23:



Tag	Group	Datatype	Comment
AMOSTRAS_MEDIA	LOCAL	REAL	
AUX_CONT	LOCAL	REAL	
AUX_MEDIA_PARC	LOCAL	REAL	
AUX_MEDIA_TOTAL	GLOBAL	REAL	
LEITURAS	LOCAL	REAL	

24:



Tag	Group	Datatype	Comment
-----	-------	----------	---------

25: Analogica 2 - Media recursiva



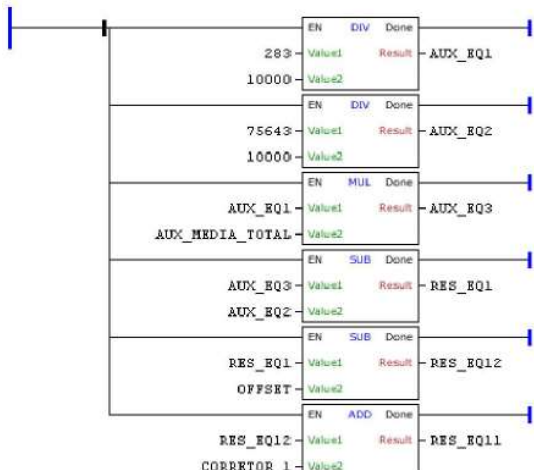
Tag	Group	Datatype	Comment
AMOSTRAS_MEDIA	LOCAL	REAL	
AUX_2MEDI_MM_2	LOCAL	REAL	
AUX_CONT_2	LOCAL	REAL	
AUX_MEDIA_2	LOCAL	REAL	
AUX_MEDIA_PARC_2	LOCAL	REAL	
M20_MR	LOCAL	BOOL	

26:



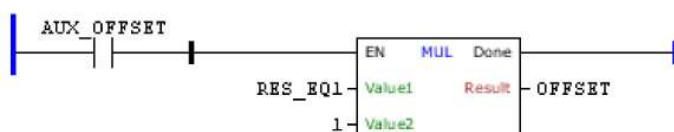
Tag	Group	Datatype	Comment
AMOSTRAS_MEDIA	LOCAL	REAL	
AUX_CONT_2	LOCAL	REAL	
AUX_MEDIA_PARC_2	LOCAL	REAL	
AUX_MEDIA_TOTAL_2	GLOBAL	REAL	

27: Analogica 1 - Equação p/ calcular peso da balança em ate 25,0 kg



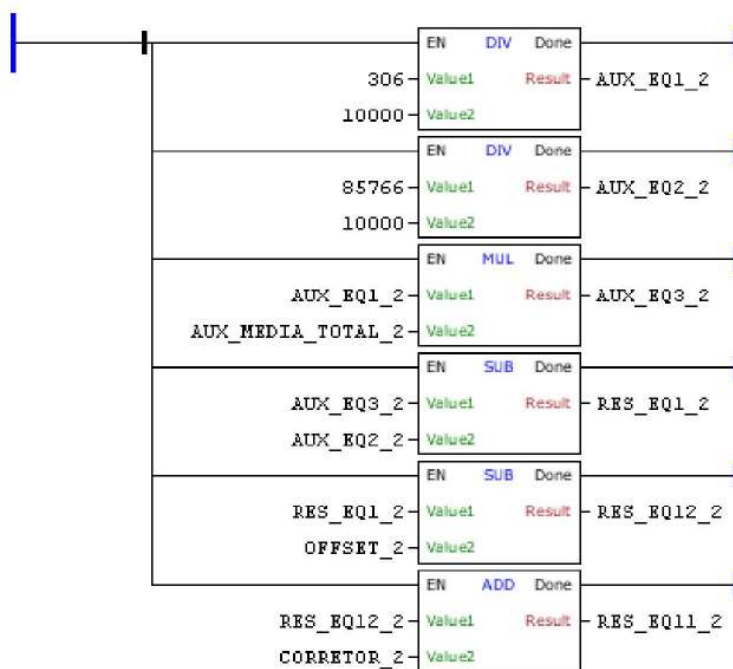
Tag	Group	Datatype	Comment
AUX_EQ1	LOCAL	REAL	Variavel auxiliar da equação
AUX_EQ2	LOCAL	REAL	Variavel auxiliar da equação
AUX_EQ3	LOCAL	REAL	
AUX_MEDIA_TOTAL	GLOBAL	REAL	
CORRETOR_1	GLOBAL_RETAIN	REAL	
OFFSET	GLOBAL_RETAIN	REAL	
RES_EQ1	GLOBAL	REAL	
RES_EQ11	GLOBAL	REAL	
RES_EQ12	LOCAL	REAL	

28: Analogica 1 - Offset



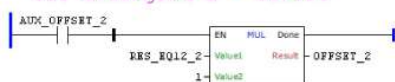
Tag	Group	Datatype	Comment
AUX_OFFSET	GLOBAL	BOOL	
OFFSET	GLOBAL_RETAIN	REAL	
RES_EQ1	GLOBAL	REAL	

29: Analogica 2 - Equação p/ calcular peso da balança em ate 80,0 kg



Tag	Group	Datatype	Comment
AUX_EQ1_2	LOCAL	REAL	
AUX_EQ2_2	LOCAL	REAL	
AUX_EQ3_2	LOCAL	REAL	
AUX_MEDIA_TOTAL_2	GLOBAL	REAL	
CORRETOR_2	GLOBAL_RETAIN	REAL	
OFFSET_2	GLOBAL_RETAIN	REAL	
RES_EQ11_2	GLOBAL	REAL	
RES_EQ12_2	LOCAL	REAL	
RES_EQ1_2	LOCAL	REAL	

30: Analogica 2 - Offset

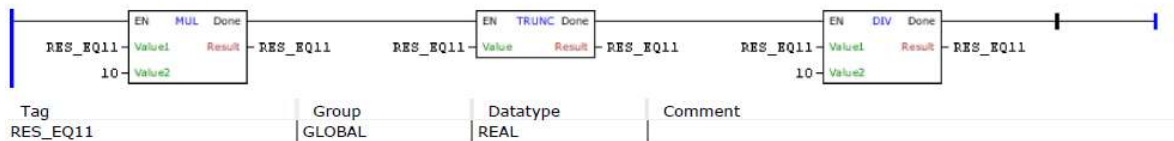


Tag	Group	Datatype	Comment
AUX_OFFSET_2	GLOBAL	BOOL	
OFFSET_2	GLOBAL_RETAIN	REAL	
RES_EQ12_2	LOCAL	REAL	

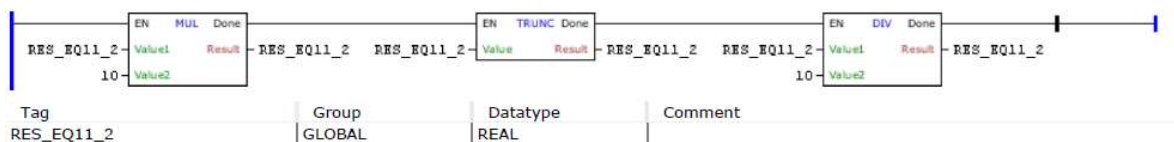
31: Calculo do peso bruto do pallet. Resultado esta com XX,X kg



32: Aredondar as casas decimais



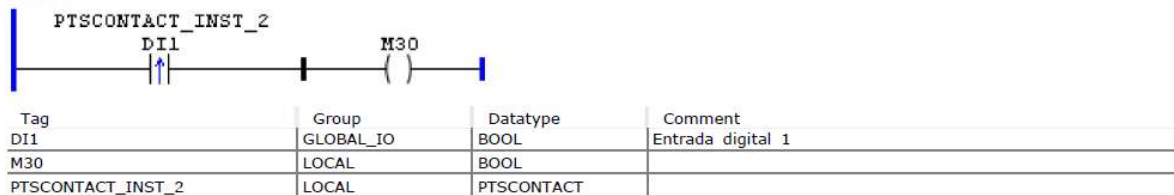
33:



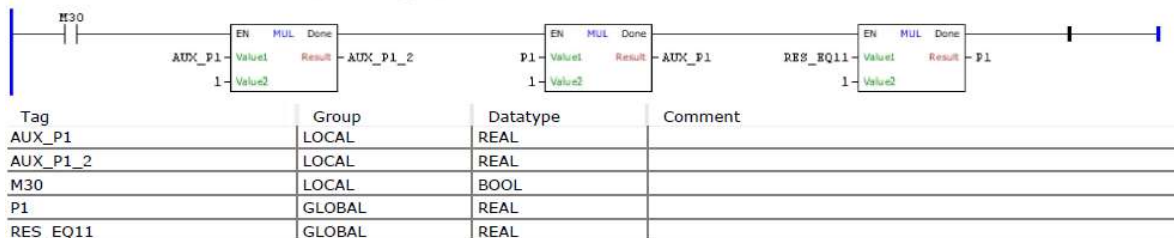
34: COMEÇA AVALIAÇÃO DOS BLOCOS



35:



36: Atribuir o resultado da equação 1 a P1 e a variaveis auxiliares

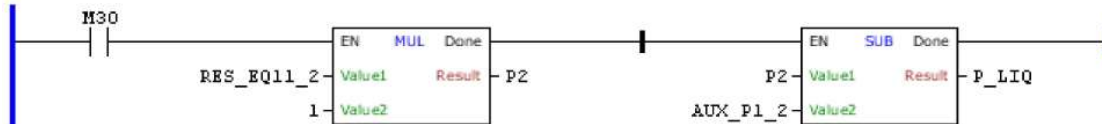


37: Mostra na tela instataneamente o peso liquidido



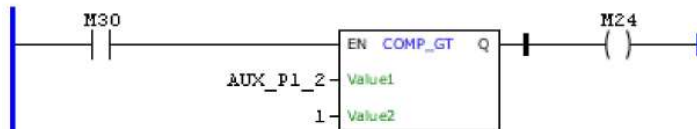
Tag	Group	Datatype	Comment
AUX_P1_2	LOCAL	REAL	
P_LIQ_TELA	GLOBAL	REAL	
RES_EQ11_2	GLOBAL	REAL	

38: Atribuir o resultado de equação 2 a P2 e calcular o peso liquido



Tag	Group	Datatype	Comment
AUX_P1_2	LOCAL	REAL	
M30	LOCAL	BOOL	
P2	GLOBAL	REAL	
P_LIQ	GLOBAL	REAL	
RES_EQ11_2	GLOBAL	REAL	

39:



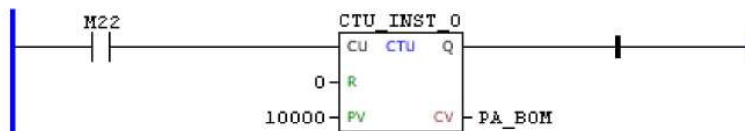
Tag	Group	Datatype	Comment
AUX_P1_2	LOCAL	REAL	
M24	LOCAL	BOOL	
M30	LOCAL	BOOL	

40: Compara se peso liquido é maior e igual que peso referencia-----



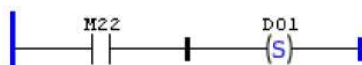
Tag	Group	Datatype	Comment
M22	LOCAL	BOOL	
M24	LOCAL	BOOL	
P_LIQ	GLOBAL	REAL	
P_REF	GLOBAL_RETAIN	REAL	

41: Incrementa numero de pallet bom



Tag	Group	Datatype	Comment
CTU_INST_0	LOCAL	CTU	
M22	LOCAL	BOOL	
PA_BOM	GLOBAL	UINT	

42: Acender luz verde



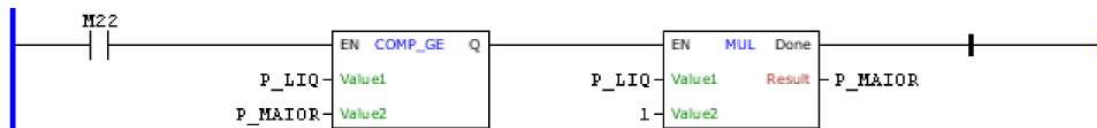
Tag	Group	Datatype	Comment
DO1	GLOBAL_IO	BOOL	Saída digital 1
M22	LOCAL	BOOL	

43: Apagar luz verde



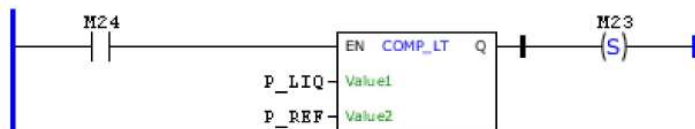
Tag	Group	Datatype	Comment
DO1	GLOBAL_IO	BOOL	Saída digital 1
TON_INST_3	LOCAL	TON	

44: Guardar o maior peso



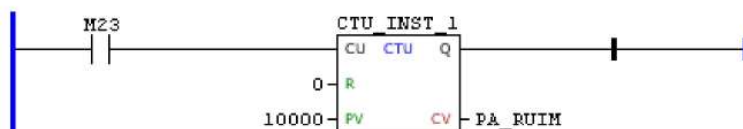
Tag	Group	Datatype	Comment
M22	LOCAL	BOOL	
P_LIQ	GLOBAL	REAL	
P_MAIOR	GLOBAL	REAL	

45: Compara se peso liquido é menor que peso referencia-----



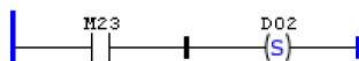
Tag	Group	Datatype	Comment
M23	LOCAL	BOOL	
M24	LOCAL	BOOL	
P_LIQ	GLOBAL	REAL	
P_REF	GLOBAL_RETAIN	REAL	

46: Incrementar pallet ruim



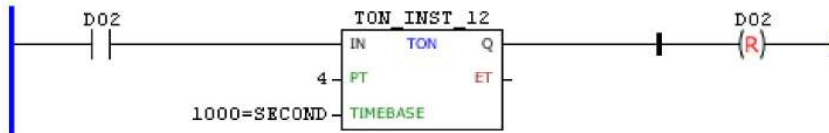
Tag	Group	Datatype	Comment
CTU_INST_1	LOCAL	CTU	
M23	LOCAL	BOOL	
PA_RUIM	GLOBAL	UINT	

47: Acender luz vermelha



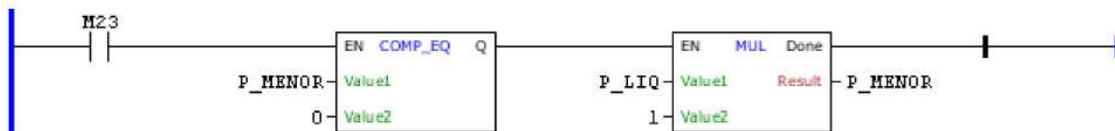
Tag	Group	Datatype	Comment
DO2	GLOBAL_IO	BOOL	Saída digital 2
M23	LOCAL	BOOL	

48: Apagar luz vermelho



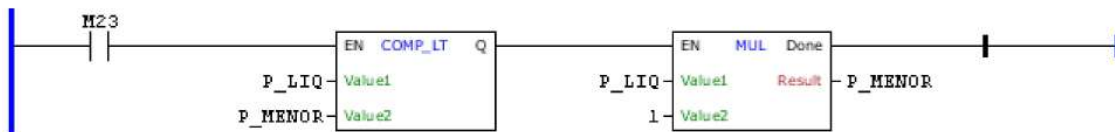
Tag	Group	Datatype	Comment
DO2	GLOBAL_IO	BOOL	Saída digital 2
TON_INST_12	LOCAL	TON	

49: Guardar o menor peso



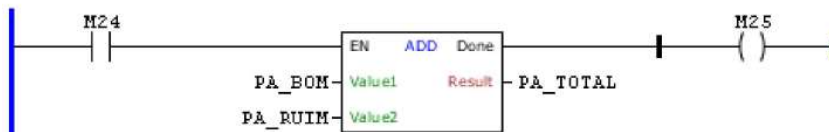
Tag	Group	Datatype	Comment
M23	LOCAL	BOOL	
P_LIQ	GLOBAL	REAL	
P_MENOR	GLOBAL	REAL	

50:



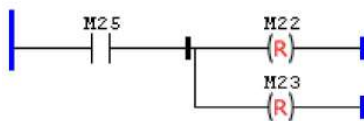
Tag	Group	Datatype	Comment
M23	LOCAL	BOOL	
P_LIQ	GLOBAL	REAL	
P_MENOR	GLOBAL	REAL	

51: Total de pallets-----



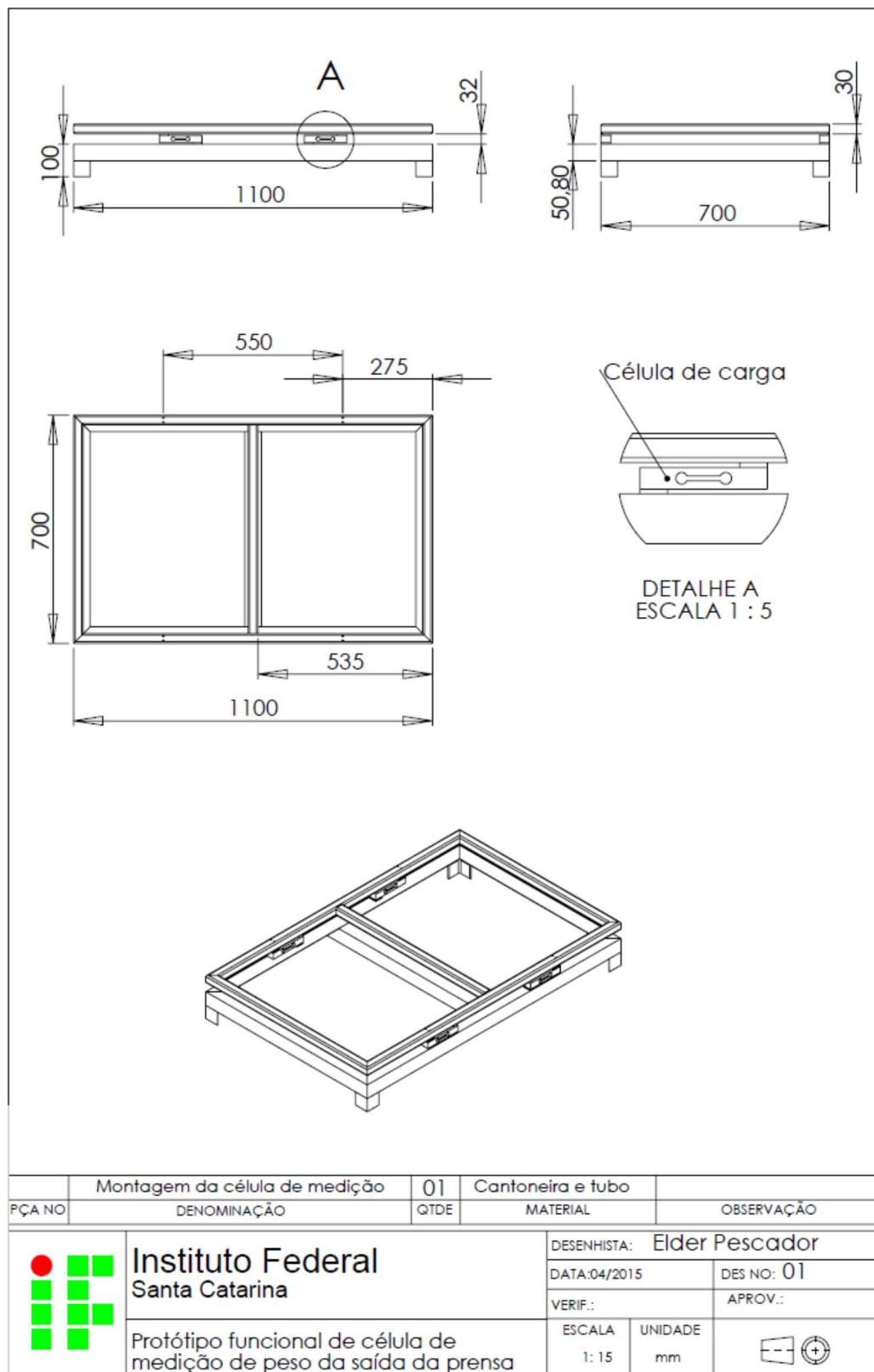
Tag	Group	Datatype	Comment
M24	LOCAL	BOOL	
M25	LOCAL	BOOL	
PA_BOM	GLOBAL	UINT	
PA_RUIM	GLOBAL	UINT	
PA_TOTAL	GLOBAL	SINT	

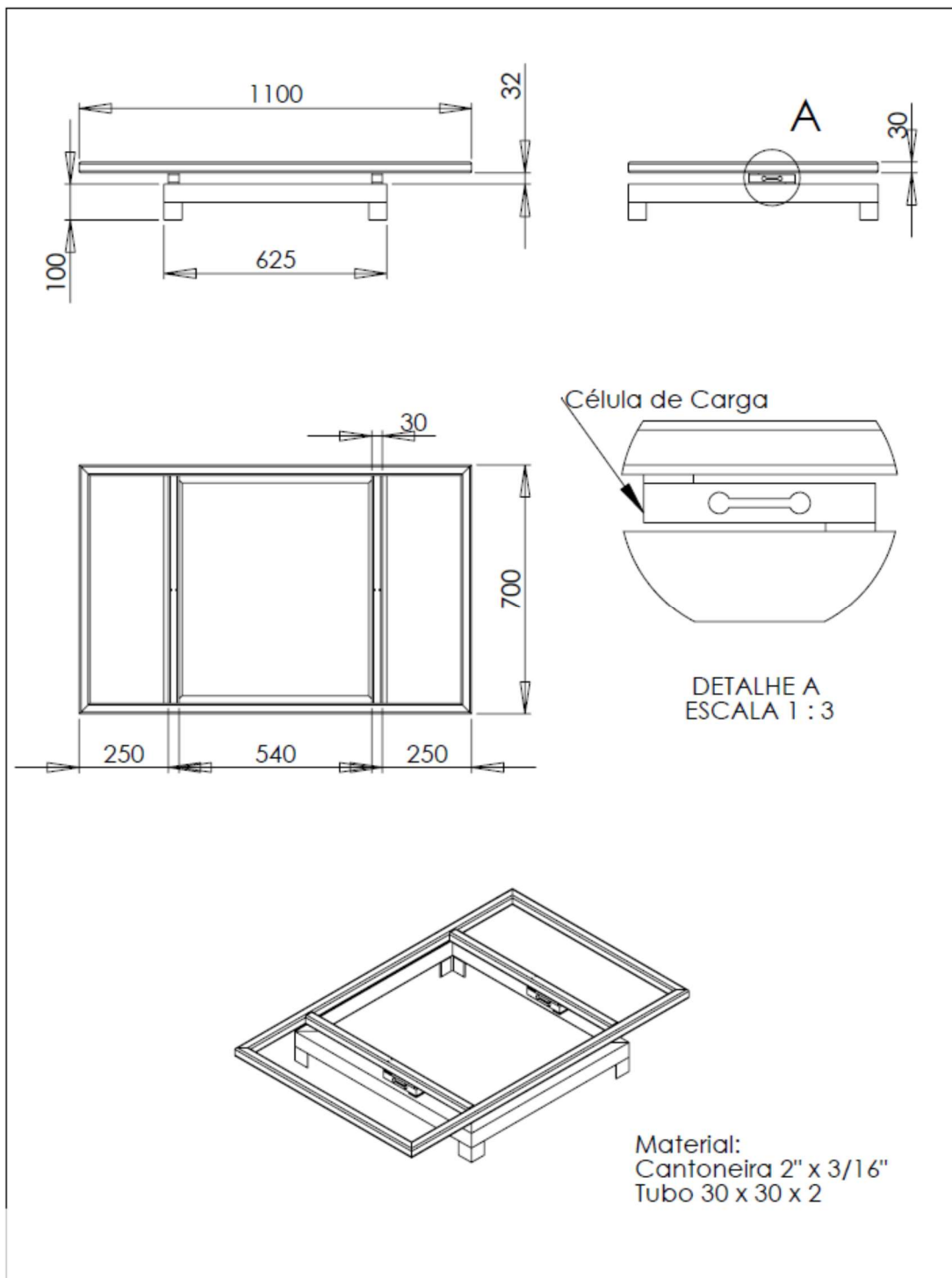
52:



Tag	Group	Datatype	Comment
M22	LOCAL	BOOL	
M23	LOCAL	BOOL	
M25	LOCAL	BOOL	

APÊNDICE C: ESTRUTURA MECÂNICA DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DE PESO





PÇA NO	DENOMINAÇÃO	QTDE	MATERIAL	OBSERVAÇÃO
	Montagem da célula de medição	01	Cantoneira e tubo	

	Instituto Federal Santa Catarina	DESENHISTA: Elder Pescador		
		DATA: 04/2015	DES NO: 02	
	Protótipo funcional de célula de medição de peso da entrada da prensa		VERIF.:	APROV.:
	ESCALA 1:15	UNIDADE mm		

APÊNDICE D: IMAGENS DA ESTRUTRA MECÂNICA

Célula de carga montada na estrutura



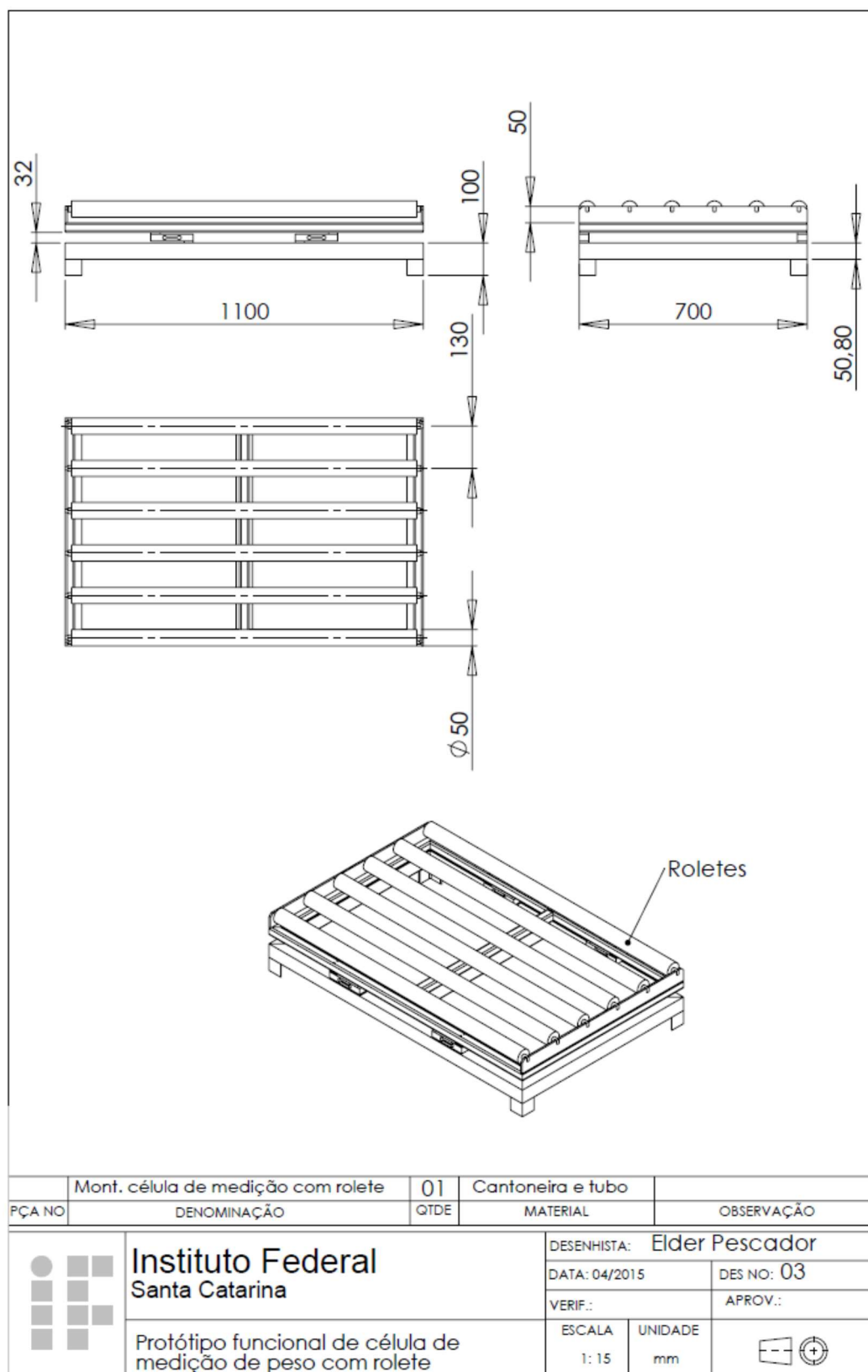
As duas estruturas que realizam as medições lado a lado



Vista lateral da estrutura, mostrando duas células de carga e o *pallet* em cima



APÊNDICE E: ESTRUTURA MECÂNICA DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DE PESO COM ROLETES



APÊNDICE F: IMAGENS DO PAINEL ELÉTRICO

Vista frontal do painel



Vista interna da montagem do painel



APÊNDICE G: TABELA DOS ENSAIOS DE REPETIÇÕES

Resposta	7s	8s	10s	12s	14s
vvc (Kgf)	53,182	53,182	53,182	53,182	53,182
Medições	Peso(Kgf)	Peso(Kgf)	Peso(Kgf)	Peso(Kgf)	Peso(Kgf)
1	42,8	49,2	52,7	52,9	52,8
2	51	48,5	52,6	52,8	52,8
3	48,1	52	52,8	52,8	52,7
4	46	51,3	52,9	52,8	52,9
5	48,2	51,4	52,6	52,8	52,8
6	50,3	49,8	52,8	52,9	52,8
7	38,7	52,5	52,9	52,8	52,9
8	48,5	45	52,8	52,9	52,9
9	51,6	52,3	52,6	52,9	52,8
10	46,2	43,6	52,7	52,9	52,9
11	47,1	46	52,7	52,9	52,9
12	41,6	38,3	52,6	52,8	52,8
13	48,1	50	52,6	52,8	52,9
14	41,3	51,6	52,7	52,7	52,8
15	33,9	47,9	52,7	52,9	52,8
16	40,8	49,1	52,6	52,9	52,9
17	48,9	50,4	52,6	52,9	52,8
18	46,5	35,1	52,8	52,8	52,7
19	44,6	49,1	52,6	52,8	52,8
20	43,4	41,5	52,9	52,8	52,8