

AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE PESAGEM DE CARGAS EM EMPILHADEIRAS

Douglas Ferreira¹; Ivan Paulo Canal²

¹ Discente do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial

² Professor do Instituto Federal Farroupilha - Campus Panambi

Instituto Federal Farroupilha – Campus Panambi – RS, Brasil.

e-mail: douglas.marau@hotmail.com

Resumo – Este trabalho consiste no projeto para um protótipo de balança para pesagem de cargas em equipamentos movimentadores, como empilhadeiras. Tem-se como objetivo principal, criar um sistema simples e de fácil aplicação, que traga resultados precisos do peso de cargas, quando transportadas por empilhadeiras e/ou acessórios a elas adaptados. Este sistema terá a vantagem de ser de fácil instalação e custo relativamente baixo comparado a outros sistemas disponíveis no mercado. Este sistema de pesagem eletrônico, utilizará um transmissor de pressão, que integrado a um controlador (CLP), irá converter pressão exercida em um cilindro hidráulico, para peso em Kg, que será exibida em um display para indicar a carga ao operador.

Palavras-Chave – Sistema de pesagem, controladores hidráulicos, sensor de pressão.

LOAD WEIGHING SYSTEM ON FORKLIFTS

Abstract – This project consists of designing a prototype scale for weighing loads on handling equipment, such as forklifts. The main objective is to create a simple, easy-to-use system that provides accurate weight results for loads transported by forklifts and/or adapted accessories. This system will have the advantage of being easy to install and relatively low cost compared to other systems available on the market.

This electronic weighing system will utilize a pressure transducer, which, integrated with a controller (PLC), will convert the pressure exerted on a hydraulic cylinder into weight in kilograms, which will be displayed on a display to indicate the load to the operator. This text was written according to these guidelines for submission in Portuguese.

Keywords – Weighing system, hydraulic controllers, pressure sensor.

NOMENCLATURA

<i>P</i>	pressão (Pa) ou (Bar)
<i>F</i>	força (N)
<i>A</i>	área (m ²)
<i>m</i>	massa (Kg)
<i>g</i>	gravidade (9,8m/s ²)
<i>CC</i>	corrente contínua
<i>CA</i>	corrente alternada

I. INTRODUÇÃO

A automação industrial tem desempenhado um papel fundamental na modernização dos processos produtivos, garantindo maior precisão, segurança e eficiência nos processos. Entre as diversas aplicações dos Controladores Lógicos Programáveis (CLP's), destaca-se o uso em sistemas de pesagem, onde é necessário converter sinais analógicos de sensores em informações úteis para o operador.

Há uma variedade de sistemas de pesagem existentes no mercado, porém neste trabalho, será objeto de estudo modelos que utilizam sistemas de pesagem ou com princípios de funcionamento semelhantes, os quais atuam com sistema hidráulico para elevação vertical de cargas.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um sistema de pesagem, aplicado em um sistema hidráulico, e para automação do sistema será utilizado um CLP, um transmissor de pressão e um atuador hidráulico, neste caso, o cilindro de elevação da empilhadeira. Este projeto é de um protótipo de balança para pesagem de cargas em equipamentos movimentadores, como empilhadeiras.

Para informar o resultado do peso carregado, será utilizado um display digital adaptado no equipamento (empilhadeira), para fácil visualização do operador sobre os valores em kg carregados / transportados, permitindo que o operador possa verificar se o peso do material carregado está correto e/ou dentro da capacidade da máquina, podendo ainda, ser considerado como item de segurança adicional ao equipamento.

II. METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se no desenvolvimento de uma solução prática para a medição de pesos em equipamentos de movimentação de cargas. O método empregado será experimental baseado em testes, medições e ajustes do sistema hidráulico e eletrônico. O trabalho será, demonstrando aplicações e usos, evidenciando que há demanda para este dispositivo.

Foram realizados testes experimentais, com os componentes apresentados neste trabalho, os quais estão disponíveis na empresa parceira e que poderão ser aplicados nos testes práticos, para validação do sistema, buscando atender as expectativas do projeto idealizado.

III. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E DESENVOLVIMENTO

3.1 Estudo de caso e dispositivos existentes

Nos setores de produção industrial que utilizam movimentação de cargas elevadas, sistemas de pesagem são amplamente utilizados devido à questão da segurança operacional. No caso de balanças hidráulicas, elas oferecem segurança, robustez, baixa manutenção e capacidade de medir grandes cargas com precisão satisfatória.

Com o desenvolvimento deste trabalho, este sistema de pesagem poderá ser instalado em pás carregadeiras, guas e outros equipamentos de movimentação vertical de cargas.

Dentre os dispositivos atualmente utilizados para suprir a demanda de pesagem de cargas, serão citados os três principais modelos comerciais existentes no mercado que utilizam sistemas de pesagem:

Um dos modelos disponíveis no mercado é da Balanças R&R, segundo o fabricante, a balança para empilhadeira é um sistema de pesagem instalado no sistema hidráulico da empilhadeira que permite efetuar pesagens rápidas, durante as movimentações de carga. Possui um indicador instalado na cabine, que permite ao operador ter o total controle visual dos carregamentos e das operações de carga e descarga [1]. Modelo apresentado pelo fabricante disponível no mercado:



Fig. 1. Sistema de pesagem Loader[1].

Outro modelo disponível no mercado, é a Balança embarcada Smart Lift para empilhadeira, uma opção que utiliza um sistema de pesagem com display e permite que a configuração do equipamento e o acesso à relatórios possam ser feitos pelo celular via bluetooth, permitindo também a impressão dos registros [2].



Fig. 2. Sistema de pesagem Marpress[2].

Para finalizar, temos o sistema WeighMatic: que é um sistema de pesagem móvel, que proporciona resultados de pesagem rápidos e precisos para todos os tipos de empilhadeiras.

O sistema fornece resultados de pesagem precisos diretamente na empilhadeira em menos de 5 segundos e é adequado para aplicações onde o transporte até soluções de pesagem tradicionais é complicado ou inviável, e em ambientes perigosos onde as células de carga tradicionais falham.

Como funciona: O sistema de pesagem hidráulica WeighMatic pesa a carga em apenas 5 segundos e fornece comunicação de dados diretamente da empilhadeira para os sistemas WMS (sistema de gerenciamento de armazém) e ERP (sistema de gestão empresarial). Ele também avisa o operador caso o limite de elevação predefinido seja excedido, medindo a pressão no sistema hidráulico de elevação.

Totalmente ajustável, não afeta o desempenho do sistema hidráulico de elevação e melhora. O sistema também funciona em manipuladores telescópicos, caminhões basculantes, pás carregadeiras e carregadeiras frontais. [3]



Fig. 3. Sistema de pesagem WeighMatic [3].

3.2 Sugestão de solução para a automação de pesagem de cargas.

No caso do sistema proposto, o objetivo é medir cargas com boa repetibilidade e confiança, garantindo precisão e segurança aos operadores e usuários.

Na empresa parceira, testamos dois sistemas distintos de pesagem para empilhadeiras. Ambos os equipamentos foram reprovados porque não atingiram a precisão prometida pelo fabricante. Enquanto o catálogo indicava uma tolerância de $\pm 1,7\%$, a variação real identificada nos testes foi de $3,3\%$. Essa divergência impede o uso dos sistemas na operação da indústria, que exige controle de peso no carregamento.

O presente trabalho foi desenvolvido, devido a necessidade de sistemas de pesagem que atendam essa tolerância de variação sobre o peso real e o mensurado. Este dispositivo poderá ser instalado não só nas empilhadeiras, mas em equipamentos diversos, pois utiliza a pressão de linha hidráulica do equipamento para indicar a carga.

Isto pode ser realizado através da programação de um CLP que calcula e converte a pressão hidráulica em Kg de peso, levando em consideração a área do cilindro hidráulico onde a força é aplicada.

3.3 O sistema de pesagem de cargas proposto

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver um sistema simples, de fácil aplicação e capaz de fornecer resultados precisos sobre o peso de cargas transportadas por empilhadeiras e/ou por acessórios acoplados a elas.

O sistema proposto baseia-se no princípio físico de conversão da pressão hidráulica em força e, posteriormente, em massa (peso). Essa conversão ocorre por meio de equações que permitem quantificar a pressão aplicada sobre a área do atuador hidráulico, considerando que os atuadores transformam energia hidráulica em energia mecânica [12], que neste caso é proveniente do movimento do fluido hidráulico.

A pressão medida no cilindro do pistão hidráulico é proporcional à força aplicada sobre ele. Essa força pode ser convertida em peso utilizando a relação entre pressão, área do atuador e aceleração da gravidade. As empilhadeiras utilizam bombas hidráulicas, que recebem trabalho mecânico do motor e o convertem em energia hidráulica através dos engrenamentos da bomba, fornecendo potência ao fluido [11].

A bomba hidráulica (figura 4) é utilizada nos circuitos hidráulicos para converter energia mecânica em energia hidráulica (trabalho), e responsável em criar o fluxo (vazão) de fluido para o sistema. A bomba hidráulica por si não gera pressão, a pressão só é criada quando houver restrição à passagem de fluxo. [15]

Já o atuador hidráulico, é o responsável por converter esse fluxo do óleo hidráulico em trabalho mecânico, no caso, deslocando o cilindro, fazendo a movimentação da carga.

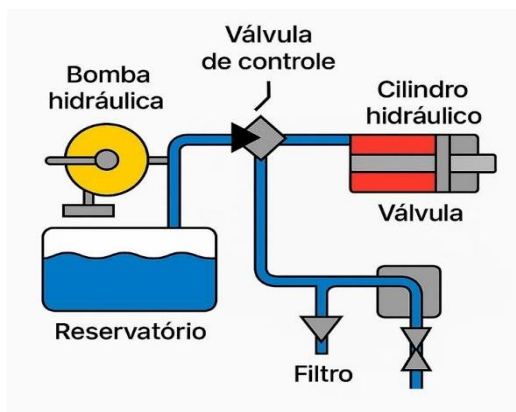


Fig. 4. Sistema Hidráulico Industrial Básico [16].

O funcionamento do dispositivo proposto, ocorre através da leitura de um transmissor de pressão hidráulica, que será instalado na linha de pressão do cilindro de elevação. Este sensor enviará sinais elétricos mensuráveis na forma de tensões ou correntes variáveis conforme a mudança de pressão para o CLP, que por sua vez fará a leitura desses valores. Através de um programa aplicado no controlador, a pressão

hidráulica em Bar será convertida em peso (kg), indicando a carga suportada pelo atuador hidráulico.

3.4 Teorema de Pascal

Para entender melhor o sistema proposto, podemos aplicar o Teorema de Pascal, que afirma que “a pressão aplicada em um ponto de um fluido incompressível em equilíbrio, é transmitida integralmente para todos os pontos do fluido, em todas as direções” [5].

Considerando princípio de Pascal, pode-se aceitar que um transmissor de pressão, instalado junto à linha de pressão hidráulica, isto é, onde o fluxo do óleo é aplicado na pressão hidráulica de trabalho, este transmissor, receberá a mesma pressão que está realizando o trabalho no atuador hidráulico, considerando neste caso, que não há nenhum bloqueio ou restrição do fluido, desde o ponto de medição até o ponto onde está aplicada a carga. O monitoramento através do transmissor de pressão e que indicará através de alterações no sinal de leitura, qualquer pressão que esteja aplicada na linha hidráulica.

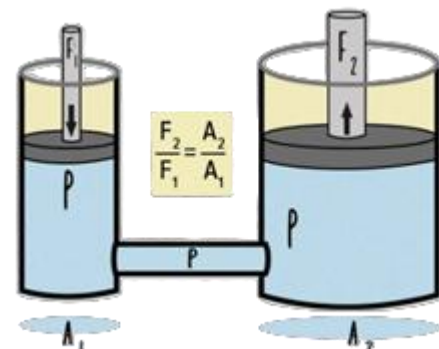


Fig. 5. Princípio de Pascal [4].

Obedecendo o princípio de Pascal, e admitindo que a pressão hidráulica, é definida como a pressão que é fornecida por uma bomba, e que esta pressão é exercida em todas as direções de um vaso, para efeitos práticos, devemos considerar que a pressão hidráulica exercerá forças diferentes quando aplicado em seções com áreas diferentes. Portanto, para efeito de cálculo, será considerado a área do atuador hidráulico como referência sobre as cargas aplicadas e na definição da força (F)[12].

$$\text{Utilizando a fórmula, } P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Onde:

P = pressão (Pa)

F = força (N)

A = área (m²)

O sistema hidráulico opera de maneira integrada. A bomba desloca o fluido, enviando-o até os atuadores, que transformam essa pressão em movimento. Os cilindros criam deslocamentos lineares. As válvulas controlam o fluxo e ajustam a pressão.

O controle das válvulas permite a execução de tarefas específicas, como movimentar grandes cargas ou posicionar componentes com precisão milimétrica. Essa flexibilidade e

capacidade de adaptação tornam o sistema hidráulico indispensável em aplicações que exigem força e controle simultaneamente [13].

Seguindo os princípios de força e pressão, vamos aplicar neste projeto, um atuador hidráulico de 38,1mm de diâmetro, sobre o qual será aplicado a carga a ser mensurada. Para efeito de cálculo, precisamos saber a área do êmbolo do cilindro utilizando a equação:

$$\begin{aligned} A &= \pi r^2 \\ A &= \pi * 0,01905^2 \\ A &= 0.001140\text{m}^2 \end{aligned} \quad (2)$$

Conhecendo os valores como, pressão (P), força (F) e área (A), podemos utilizar a fórmula para encontrar a massa que está sendo aplicada.

Como $F = m * g$, temos:

$$P = \frac{m * g}{A} \rightarrow m = \frac{P * A}{g} \quad (3)$$

Utilizando os dados, teremos o resultado da massa que está aplicada sobre o atuador, a qual causa a variação da pressão que é captada pelos sinais elétricos do transmissor de pressão.

3.5 Transmissor de pressão

Para demonstrar os valores de pressão que estão atuando na linha hidráulica do atuador, utilizaremos um tipo de sensor que é chamado de transmissor de pressão.

Um transmissor de pressão é um dispositivo que converte uma pressão medida em um sinal. O Sensor é constituído por um elemento elástico (membrana) que se deforma ou deflete sob pressão. Outro elemento do transmissor, irá converter esta deformação em um sinal elétrico mensurável. No desenvolvimento deste trabalho, utilizaremos dois modelos de transmissores utilizados na empresa parceira, um é o transmissor SUCO, modelo 0720-25241-B-001, que trabalha com faixa de pressão de 0 – 250 bar ou 0 – 3620 psi e o outro transmissor da marca TRAFAG, Tipo 8252.74.2517 que corresponde ao transmissor de pressão industrial da série NAT 8252, configurado especificamente para uma faixa de medição de 0 a 250 bar com sinal de saída de 0 a 10 V.

Deve-se observar que os transmissores de pressão estão sujeitos a erros, como: de resolução, de deslocamento de zero, de linearidade, de sensibilidade, de histerese, e de temperatura [5]. Portanto deverá ser observado e levado em consideração a ocorrência de erros de medição, necessitando aplicar filtros e fazer ajustes e correções.

No caso aplicado, os transmissores de pressão enviarão um sinal elétrico mensurável para o CLP, onde o programa realizará a conversão sinal elétrico em pressão em BAR, sendo que este valor deve ser convertido para Pascal, convertendo os valores de pressão (Pa) em Kg através de uma equação.

Equação para conversão de corrente em pressão, sabendo que a faixa de corrente de medição é de 4 a 20mA (onde 4mA

= 0 bar e 20 mA = 250 bar), a corrente indicada será subtraída, da diferença entre a mínima e a máxima faixa de medição, e após multiplicada por 250, fornecendo a pressão em Bar do sistema:

$$P_{bar} = \left(\frac{I - 4mA}{16mA} \right) * 250 \text{ bar} \quad (4)$$

Conhecendo a pressão em Bar, é necessário converter para Pascal [5].

$$P_{pa} = P_{bar} * 10^5 \quad (5)$$

Com os valores de pressão em Pascal, aplica-se a equação para encontrar a massa (Kg) [5].

Supondo que o sistema indique uma pressão de 10 Bar:

A. Massa (Kg):

$$\begin{aligned} m &= \frac{P_{pa} * A}{g} \\ m &= \frac{(10 * 100000) * 0,001140}{9,81} \\ m &= 116,20 \text{ Kg} \end{aligned} \quad (3)$$

Através destas fórmulas, podemos identificar se o valor mensurado corresponde ao valor matemático, e fazer o cálculo da porcentagem de erro apresentado pelo sensor e o sistema de pesagem.

3.6 Controlador Lógico Programável

Podemos definir que o CLP é um aparelho eletrônico digital, que utiliza uma memória programável para armazenar internamente instruções e para implementar funções específicas, tais como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética, controlando, por meio de módulos de entradas e saídas, vários tipos de máquinas ou processos [7].

O CLP é um dispositivo muito utilizado em equipamentos, pois permite fazer a lógica do sistema funcionar, ele recebe e faz a conversão dos sinais de entrada e indica os valores desejados na saída do CLP. No caso proposto, será utilizado o CLP da marca IFM, modelo CR 0403, que é indicado para funções de comando simples em automóveis e máquinas móveis [8]. Este CLP contém as entradas e saídas suficientes necessárias para realização do sistema de passagem, sendo 12 entradas digitais, 4 entradas analógicas, 4 entradas de frequência, 4 entradas de resistência e 12 saídas digitais. Segundo pesquisa realizada no site do fabricante, o preço deste CLP é de R\$2.538,00 mais impostos, na data de 30/10/2025.



Fig. 6. CLP IFM CR0403[8].

Para o funcionamento do sistema, a alimentação elétrica será realizada com uma fonte 24VCC externa, alimentada em 220VCA para possibilitar realizar testes em bancada.

3.7 Estrutura do sistema

Para avaliar a carga e converter a pressão hidráulica em sinal elétrico mensurável, será montado no atuador hidráulico, um transmissor de pressão, o transmissor ficará entre a linha de alimentação e a bomba hidráulica, próximo ao chamado “pé do cilindro”, onde o fluxo hidráulico enviará a pressão ao transmissor, que irá converter pressão em corrente elétrica, alimentando uma entrada de sinal analógica do CLP. O transmissor de pressão fornece um sinal de corrente proporcional à pressão medida: 4 mA → 0 bar e 20 mA → pressão máxima (250 bar). O valor do transmissor é de R\$1.480,00, segundo fontes do site visitado [10].

Diferente da medição por tensão, aqui o CLP lê diretamente a corrente.

Vantagens da medição em corrente:

- Maior imunidade a ruído elétrico
- Menor influência de queda de tensão nos cabos
- Maior precisão em ambientes industriais
- Detecção de falha (corrente < 4 mA indica erro)

Transmissor SUCO 072025241B001

Especificações técnicas principais:

- ✓ Sinal de Saída: Analógico de 4 - 20 mA (tecnologia a 2 fios).
- ✓ Faixa de Pressão: 0 a 250 bar (0 a 3620 psi).
- ✓ Conexão de Processo (Rosca): G 1/4-E (DIN 3852-E) com vedação estanque.
- ✓ Conexão Elétrica: Conector DIN EN 175301-803-A.
- ✓ Tensão de Alimentação: 10 a 32 V DC.



Fig. 7. Transmissor de pressão SUCO [9].

Já o transmissor Trafag NAT 8252 (código 8252.74.2517) é um transmissor de pressão industrial de alta precisão fabricado na Suíça. Ele possui um sensor de filme fino sobre aço (thin-film-on-steel), o que garante excelente estabilidade a longo prazo e alta resistência à sobrepressão. O valor deste sensor é de aproximadamente R\$1.384,27 [17].

Transmissor TRAFAG - NAT 8252

Especificações Técnicas principais:

- ✓ Faixa de medição: 0 a 250 bar (pressão relativa).
- ✓ Sinal de saída: Disponível nas variantes de 4 a 20 mA ou 0 a 10 V.
- ✓ Tensão de alimentação: 9 a 32 VDC (versão 4-20 mA) ou 15 a 32 VDC (versão 0-10 V).
- ✓ Tecnologia do sensor: Thin-film-on-steel (Película fina sobre aço).
- ✓ Material em contato com o fluido: Aço inoxidável 1.4542 (AISI630).
- ✓ Grau de Proteção: IP65 (ou superior dependendo do conector). [<https://www.trafag.com/en/nat-8252-industrial-pressure-transmitter/>]



Fig. 8. Transmissor de pressão Trafag [17].

Para demonstrar valores de peso que estão sendo sobre movimentadas pelo equipamento, um display será instalado em local de fácil visualização pelo operador. Este display estará conectado no CLP através de um canal de comunicação via CAN, fornecendo valores atualizados e corrigidos ao operador.

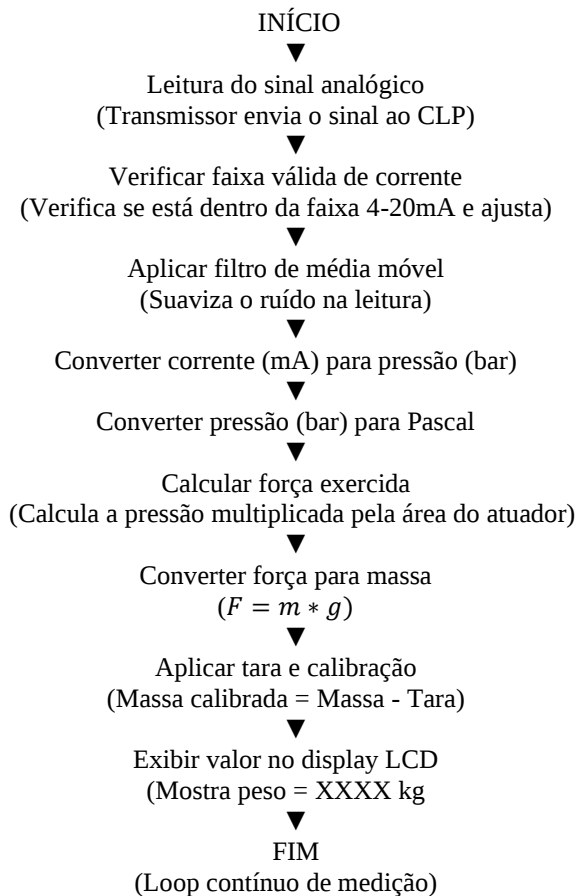
Este display, servirá também para realizar ajuste e calibração do equipamento, ou para eventuais correções que o equipamento necessitar.

No primeiro momento, será priorizada a viabilidade e a confiabilidade do equipamento, para posteriormente, realizar estudos sobre sistema de impressão de etiquetas para registro do peso e de comunicação do equipamento com outros dispositivos externos, como comunicação via bluetooth ou por sinal Wi-fi entre dispositivos remotos.

3.8 Programação do CLP

Foi desenvolvido um programa em CoDeSys 2.3, que poderia ser desenvolvido tanto em linguagem Ladder quanto em Structured Text, para realizar o teste prático do funcionamento do sistema de pesagem.

Fluxograma:



IV. PRÁTICA EXPERIMENTAL

4.1 Montagem do sistema

Nesta etapa, foi realizado o desenvolvimento experimental do sistema de pesagem. Serão descritas as etapas de montagem do protótipo, implementação do sistema eletrônico e do software de controle, bem como os procedimentos de testes e calibração realizados para validação do sistema.

4.2 Descrição do sistema

O sistema de pesagem desenvolvido baseia-se na conversão da pressão hidráulica em massa. A carga aplicada sobre um suporte fixado na haste do atuador, é transmitida para o atuador hidráulico, gerando pressão no fluido. Essa pressão é medida pelos transdutores, sendo posteriormente convertida em valor de massa por meio do programa do Clp.

O sistema é composto por:

- Transdutor de pressão (faixa de 0 a 250 bar, saída 4–20 mA);
- Transdutor de pressão (faixa de 0 a 250 bar, saída 0-10V);
- Atuador hidráulico com área conhecida;
- Controlador (CLP);
- Interface de visualização (display).

4.3 Montagem mecânica

A montagem mecânica foi realizada com a instalação de um atuador hidráulico em posição vertical, em um suporte metálico (base), que permite a aplicação direta de carga na parte superior da haste do cilindro. Outro suporte metálico confeccionado e encaixado na parte superior, garantindo a distribuição uniforme do peso.

Durante a montagem, foram considerados os seguintes aspectos:

- Alinhamento da carga para evitar esforços laterais;
- Eliminação de bolhas de ar no sistema hidráulico;
- Vedação adequada para evitar vazamentos;
- Utilização de fluido hidráulico apropriado (ISO VG 68).
- A área efetiva do pistão foi determinada a partir de suas dimensões, sendo utilizada nos cálculos de conversão de pressão em força.
- Temperatura ambiente no dia do teste estava em 14° C.

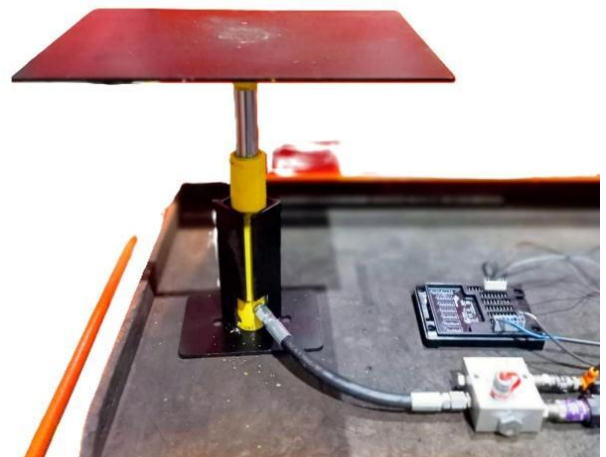


Fig. 9. Montagem do sistema. [18]

4.4 Montagem elétrica

Primeiramente foi realizada a alimentação do CLP em 24Vcc e conectado os transdutores de pressão nas entradas analógicas do CLP. Os transdutores de pressão utilizados, fornecem um sinal proporcional à pressão medida. Para permitir a leitura pelo controlador, foi realizada a ligação do sinal de corrente nos terminais de um transmissor SUCO, e um sinal de tensão no transmissor TRAFAG.

A montagem elétrica seguiu as seguintes etapas:

- Alimentação do CLP com fonte contínua 24Vcc;
- Conexão do transmissor de corrente à entrada analógica do controlador (IN 0);
- Conexão do transmissor de tensão à entrada analógica do controlador (IN 3);
- Integração com o display para exibição dos dados.

4.5 Desenvolvimento do software

O software de controle foi desenvolvido utilizando linguagem Structured Text (ST) e Lógica Booleana, no ambiente CoDeSys.

O algoritmo implementado realiza as seguintes etapas:

- Leitura do sinal analógico de corrente e tensão;
- Conversão da corrente e tensão em pressão hidráulica (Bar);
- Conversão da pressão em força e, posteriormente, em massa;
- Aplicação de filtro digital para estabilização da leitura;
- Implementação da função de tara;
- Aplicação de fator de calibração;
- Exibição do valor final em quilogramas.
- A lógica do sistema foi estruturada de forma cíclica, permitindo atualização contínua das medições.

4.6 Procedimentos de teste

Inicialmente, o sistema foi energizado sem aplicação de carga, com o objetivo de verificar a leitura inicial e ajustar a função de tara, garantindo que o sistema apresentasse valor próximo de zero. Esse procedimento é importante, pois devido ao peso próprio da haste, o peso do suporte fixado a parte superior e o volume de óleo que estão dentro do cilindro, o transdutor tende a mostrar um valor diferente de zero devido a carga inicial da Tara.

Posteriormente foram aplicadas cargas conhecidas sobre a suporte. Os valores medidos pelo sistema foram registrados e comparados com os valores reais.

Foram efetuadas diversas pesagens para a coleta dos dados, e após isso, realizado uma média dos valores, que neste caso, levou em consideração a menor e a máxima pressão indicada nas leituras do programa durante o ciclo de repetição das pesagens, a fim de gerar um coeficiente para o cálculo matemático e definir uma linha média de tolerância entre o valor medido e o erro acumulado pelo sistema.

Nas planilhas a seguir, será demonstrado estes valores das cargas, com as respectivas pressões (em Bar) medidas pelo programa do CLP. Com estes dados, foi possível estabelecer uma variação entre pressão (Bar) e o peso medido em Kg.

A calibração dos pesos foi realizada através de uma balança/paleteira, que possui uma faixa de medição de kg em kg, ou seja, a menor tolerância é de 1kg. A balança encontra-se com a calibração válida até 11/2026.

A imagem abaixo mostra a balança sem carga, para o início da aferição dos pesos.



Fig. 10. Balança sem carga. [18]

A seguir podemos verificar as imagens da calibração dos pesos aplicados no teste. Devido à falta de pesos “padrão”, foram utilizadas chapas para a montagem dos pesos que seriam analisados no sistema proposto.



Fig. 11. Verificação dos pesos para o teste de carga. [18]

Durante os testes, o mesmo peso foi aplicado diversas vezes consecutivas, sendo observada a variação nas leituras. Os resultados indicaram boa repetibilidade, com pequenas variações dentro de uma faixa aceitável de leitura.

As cargas foram mantidas sobre o sistema por um período prolongado, sendo monitoradas possíveis variações ao longo do tempo. O sistema apresentou estabilidade, com variações mínimas.

Podemos observar na tabela 1, que houve uma variação média de 0,07267 bar/kg no sensor SUCO (tabela 1) com a medição de corrente (mA) e uma média de 0,07107 bar/kg de variação no sensor TRAFAG (tabela 2).

Tabela 1: Valores de Peso x Pressão.

SENSOR DE CORRENTE 4 a 20mA				
Carga Kg	P Min.	P Max.	P média	Varição P x Kg
0	1,01	1,05	1,03	
5	1,35	1,28	1,32	0,05700
10	1,65	1,53	1,59	0,05600
15	2,03	2,25	2,14	0,07400
20	2,53	2,43	2,48	0,07250
30	3,53	3,37	3,45	0,08067
40	4,18	4,14	4,16	0,07825
50	5,14	5,18	5,16	0,08260
211	17,95	18,01	17,98	0,08033
Variação média				0,07267

Tabela 2: Valores de Peso x Pressão. [18]

SENSOR DE TENSÃO 0 a 10V				
Carga Kg	P Min.	P Max.	P média	Varição P x Kg
0	0,4	0,3	0,35	
5	0,62	0,67	0,65	0,059
10	0,85	0,92	0,89	0,0535
15	1,32	1,57	1,45	0,073
20	1,77	1,72	1,75	0,06975
30	2,77	2,6	2,69	0,077833333
40	3,37	3,45	3,41	0,0765
50	4,25	4,3	4,28	0,0785
211	17,3	17,37	17,34	0,08049763
Variação média				0,07107262

Por meio da aplicação de um fator de correção (tara), que faz o desconto da pressão inicial, determinando a relação entre o valor real e o valor medido

Esse fator foi incorporado ao software, permitindo ajustar as leituras para maior precisão.

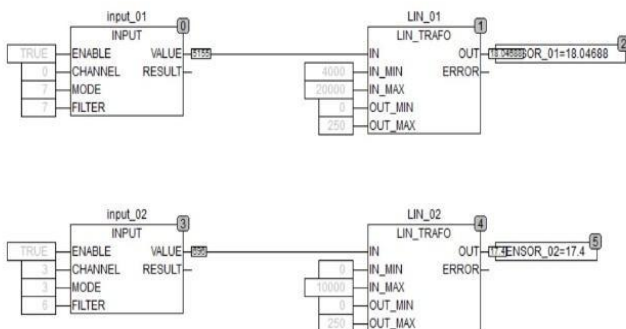


Fig. 12. Monitoramento da variação de pressão. [18]

4.7 Análise dos resultados

A análise dos dados foi realizada por meio do cálculo do erro percentual, levando em consideração a variação média. Podemos citar por exemplo a medição da carga de 30 Kg, onde na leitura com o transmissor TRAFAG, resultou em uma amplitude de leitura entre 2,77 Bar e 2,60 Bar, que convertidos em carga (kg) representam respectivamente 32,18 Kg e 30,21 Kg (aplicando o cálculo matemático).

Considerando a variação média entre as duas leituras, o valor encontrado é 2,69 Bar, o equivalente a leitura de 31,25 Kg. Ao observar a linearidade do gráfico na figura 13, pôde ser calculado, uma variação de média de 0,07107 Bar/Kg, que indicaram que o sistema apresentou erro médio no sensor Trafag de 0,574 Kg para mais ou para menos, valor considerado aceitável para aplicações industriais de cargas entre 50 e 5000 Kg.

Além disso, foi possível observar boa linearidade, entre os valores medidos com ambos os transmissores, demonstrando a eficiência do método adotado, ficando evidente no gráfico, que o sistema necessita de ajuste para correção da leitura e conversão em peso.

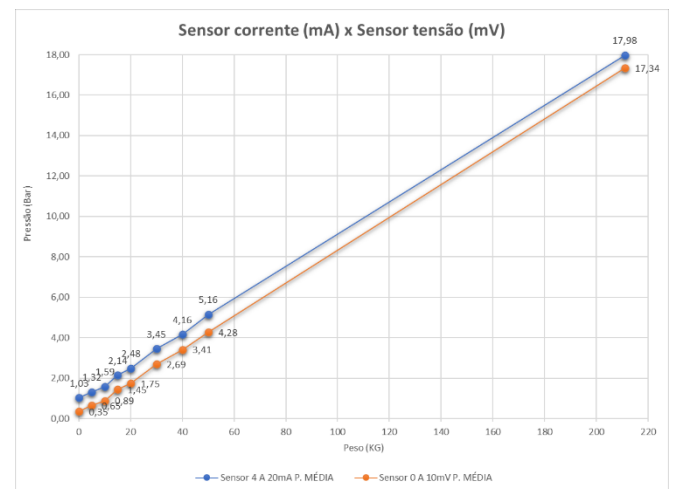


Fig. 13. Gráfico Peso x Pressão (bar). [18]

4.8 Discussão

Os resultados obtidos demonstram que o sistema é capaz de realizar medições de peso com precisão adequada, quando realizadas as correções de leitura do sistema. No entanto, algumas fontes de erro podem interferir no funcionamento, tais como:

- Presença de pequenas bolhas de ar no sistema hidráulico;
- Atrito mecânico no pistão (vedações e guias);
- Vazamentos internos no pistão (fuga de pressão);
- Alteração de peso devido ao volume de óleo dentro do cilindro do atuador hidráulico.
- Ruídos elétricos na leitura do sinal;
- Oscilação devido a picos de pressão no sistema ao elevar a carga. (quando aplicado na empilhadeira)
- Variações de temperatura.

Melhorias futuras para aplicação em empilhadeiras, podem incluir o uso de transdutores de maior precisão, filtros digitais mais avançados, melhor isolamento do sistema hidráulico, aplicação de acumulador hidráulico na linha de pressão para diminuir picos de pressão e orifícios de controle para estabilização da leitura do transmissor.

O desenvolvimento experimental permitiu validar o funcionamento do sistema de pesagem hidráulico, demonstrando que a conversão de pressão em massa é uma abordagem viável e eficiente. O sistema apresentou desempenho satisfatório, com boa precisão, repetibilidade e estabilidade, atendendo aos objetivos propostos no trabalho.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos durante os testes experimentais do sistema de pesagem hidráulico, bem como a análise crítica do seu desempenho. Os dados coletados foram comparados com valores de referência (pesos padrão), permitindo avaliar a precisão, linearidade, repetitividade e estabilidade do sistema.

5.1 Resultados experimentais

Os testes foram realizados com a aplicação de diferentes cargas conhecidas, aplicadas sobre a plataforma do protótipo. Para cada valor de peso (carga), registrou-se a leitura fornecida pelo sistema após estabilização, essa pressão fornecida em Bar, foi convertida em Kg a fim de mensurar o valor de peso corrigido (ideal). Com a utilização da equação matemática (3), foi realizado o cálculo de correção, conforme os valores demonstrados na tabela abaixo.

Tabela 3 – Comparação entre peso real e ideal. [18]

Peso Real (kg)	Peso Matemático Pa x kg	Erro (kg)	Erro (%)
5	3,31	-1,69	-33,76%
10	6,51	-3,49	-34,92%
15	12,90	-2,10	-14,01%
20	16,85	-3,15	-15,75%
30	28,12	-1,88	-6,26%
40	36,37	-3,63	-9,07%
50	47,99	-2,01	-4,01%
211	196,97	-14,03	-6,65%

Observa-se que o sistema apresenta erro negativo, indicando uma tendência de subestimativa do peso.

5.2 Análise da precisão

A precisão do sistema foi avaliada com base no erro percentual médio. Observa-se na tabela 3, maior percentual de erro com valores de carga menor, porém com uma média de diferença de peso negativo, valor que deve ser corrigido através do programa para minimizar os erros de leitura final de carga.

Esses valores coletados são considerados adequados para aplicações industriais, onde não se exige uma alta precisão

metrológica, como controle de carga e monitoramento de processos.

A precisão está diretamente relacionada a fatores como:

- exatidão do transdutor de pressão;
- qualidade do sinal analógico;
- estabilidade do sistema hidráulico.

5.3 Análise da linearidade

A relação entre o peso real e o peso medido apresentou comportamento aproximadamente linear. Isso indica que o modelo matemático adotado (baseado na relação pressão–força–massa) é adequado para descrever o sistema.

A linearidade pode ser representada por um gráfico de tendência crescente, onde os pontos entre os pesos testados se aproximam de uma reta.

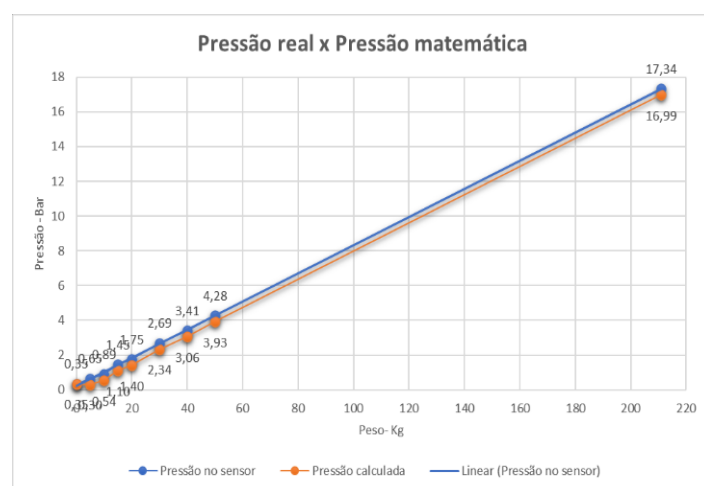


Fig. 14. Pressão real x matemática (bar). [18]

5.4 Análise da repetitividade e estabilidade

Para avaliar a repetitividade, foram realizadas múltiplas medições com a mesma carga. Os resultados indicaram pequenas variações entre leituras consecutivas, com desvio inferior a 1kg por carga medida.

Isso demonstra que o sistema apresenta boa consistência, sendo capaz de reproduzir resultados similares sob as mesmas condições.

O teste de estabilidade consistiu em manter uma carga constante sobre o sistema durante um período prolongado. Observou-se que as variações ao longo do tempo foram mínimas. Essa característica é importante para aplicações contínuas, onde o peso permanece aplicado por longos períodos.

5.5 Efeito da calibração

Após a aplicação do fator de calibração (tara), observou-se uma redução do erro percentual. A calibração permitiu corrigir desvios sistemáticos do sistema, aproximando os valores medidos dos valores reais.

Isso confirma a importância da calibração como etapa fundamental em sistemas de medição indireta.

5.6 Discussão dos resultados

Os resultados obtidos demonstram que o sistema de pesagem hidráulico apresenta desempenho satisfatório para aplicações industriais de médio porte. A abordagem baseada na conversão de pressão em massa mostrou-se eficaz, com boa relação entre simplicidade e funcionalidade.

Entretanto, algumas limitações foram identificadas que podem ser fontes de erro:

- Presença de ar no sistema hidráulico, que altera a compressibilidade do fluido;
- Atrito mecânico no pistão, o qual interfere na transmissão da força;
- Ruído elétrico, que pode afetar a leitura do sinal analógico;
- Variações de temperatura, que influenciam a densidade do fluido e o comportamento do sensor.
- Não indicado para medições de alta precisão (metrologia legal);
- Dependência da calibração periódica;
- Sensibilidade a condições mecânicas do sistema hidráulico.
- Vazamentos internos no atuador, causando queda na pressão hidráulica;

Essas limitações devem ser consideradas para aplicações práticas, a fim de evitar os erros que podem ser cumulativos, quando ocorrerem simultaneamente

Com base nos resultados obtidos, são sugeridas as seguintes melhorias:

- Utilização de sensores com maior precisão;
- Implementação de filtros digitais mais avançados;
- Melhoria na vedação e eliminação de ar no sistema;
- Uso de estrutura mecânica com menor atrito;
- Implementação de compensação térmica;
- Integração com sistemas supervisórios para monitoramento contínuo.

Os resultados experimentais demonstram que o sistema desenvolvido atende aos objetivos propostos, apresentando boa precisão, linearidade e estabilidade para aplicações industriais. Apesar das limitações identificadas, o sistema mostrou-se funcional e confiável, sendo uma alternativa viável para medição de peso em ambientes onde a robustez e custo reduzido são fatores relevantes.

IV. CONCLUSÃO

A integração dos transmissores de pressão SUCO e TRAFAG ao atuador hidráulico viabilizou o desenvolvimento de um sistema de alta precisão. Essa robustez é justificada pela confiabilidade técnica dos sensores, que simplificam a manutenção diagnóstica e a detecção de falhas. Complementarmente, o Controlador Lógico Programável (CLP) otimizou o processo de montagem e instalação devido ao uso de conectores de encaixe preciso, o que facilita as etapas subsequentes de inspeção e reparo.

No que tange à modelagem do projeto, o fluxograma elaborado conferiu clareza à implementação da lógica de funcionamento, enquanto a demonstração dos cálculos matemáticos fundamentou o entendimento das etapas de controle.

Por fim, além de consolidar a pesagem de cargas, este trabalho projeta perspectivas futuras, tais como a automatização completa de medições, a implementação de alarmes de sobrepeso, a calibração automática do sistema e a integração dos dados a softwares supervisórios, visando maximizar a eficiência e a segurança operacional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela saúde e oportunidade de realizar mais esse processo de aprendizagem, agradeço aos professores do Curso de Tecnologia em Automação industrial, em especial ao meu orientador professor Dr. Ivan Paulo Canal, por sua orientação, e incentivo ao trabalho.

Agradeço também ao meu colega de trabalho, Sr. Mathias Schwingel, engenheiro eletricista, que auxiliou com orientações sobre os componentes e hardware de programação, assim como, no acompanhamento das atividades desenvolvidas internamente na empresa.

Agradeço a empresa SAUR EQUIPAMENTOS, que proporcionou a aplicação prática do protótipo, através do empréstimo dos itens utilizados no desenvolvimento prático, sem os quais não seria possível a conclusão deste trabalho.

Agradeço por fim, a minha família pelo apoio incondicional, compreensão e incentivo para a conclusão deste projeto.

REFERÊNCIAS

- [1] Balanças R&R : [Online] <https://www.balancasrr.com.br/balanca-para-empilhadeira>, último acesso em: 03/06/2026.
- [2] Marpress Brasil: [Online] <https://marpressbrasil.com.br/produto/balanca-embarcada-para-empilhadeira-smart-lift/>, último acesso em: 03/06/2026.
- [3] Tesmatic [Online] disponível em: <https://www.tesmatic.com/product/weighmatic/>, último acesso em: 03/06/2026.
- [4] Todo Estudo - Conhecimento Compartilhado: [Online]: <https://www.todoestudo.com.br/wp-content/uploads/2020/04/principio-de-pascal-1.png>, último acesso em: 03/06/2026.
- [5] C. Cassiolato; *Medição de Pressão: Tudo o que você precisa conhecer*; [Online] disponível em: <https://www.profibus.org.br/images/arquivo/pdf-1-543ebf8b1e0a2.pdf>, último acesso em: 03/06/2026.
- [6] A. Ferreira; *Física*; Universidade Federal de Pelotas/RS - 2021; [Online] disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/bordin/files/2021/03/Fisica.pdf>, último acesso em: 03/06/2026.
- [7] M. D. Zancan; *Controladores Programáveis*; Santa Maria/RS, 2011; [Online] disponível em: https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/11/17_controladores_programaveis.pdf, último acesso em: 03/06/2026.

- [8] IFM; [Online] disponível em: <https://www.ifm.com.br/pt/product/CR0403>, último acesso em: 03/06/2026.
- [9] HidraMatic; [Online] disponível em: <https://www.hidramatic.com/pt/pressure-transmitter/suco/072025241b001>, último acesso em: 03/06/2026.
- [10] Suco Group WorldWide; [Online] disponível em: <https://loja.sucoesi.com.br/transmissores-de-pressao/oleo-hidraulico/transmissor-de-pressao-072025241-b-001>
- [11] Prof. Dr. H. A. S. Guedes; *Hidráulica*, Pelotas, agosto de 2018; [Online] disponível em: https://wp.ufpel.edu.br/hugoguedes/files/2018/08/Apostila-Hidr%C3%A1ulica-versao-2018_2.pdf, último acesso em: 03/06/2026.
- [12] M. R. Gomes, M. Andrade, F. Ferraz; *Apostila de Hidráulica*; Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia, Unidade de ensino de Santo Amaro, 2008; [Online] disponível em: <https://www.movicontrol.com.br/pdf/artigos-tecnicos1/APOSTILA%20HIDRAULICA%20B%C3%81SI CA.pdf>, último acesso em: 03/06/2026.
- [13] Guia da LDM; [Online] disponível em: [Como funciona o sistema hidráulico? | Loja do Mecânico](https://www.lojamecanico.com.br/loja-do-mecanico/como-funciona-o-sistema-hidraulico/), último acesso em: 03/06/2026.
- [14] Parker; *Tecnologia Hidráulica Industrial - Apostila M2001-2 BR* [Online] disponível em: <https://www.tecnoflexpe.com.br/wp-content/uploads/2017/02/Tecnologia-Hidr%C3%A1ulica-Industrial.pdf>, último acesso em: 03/06/2026.
- [15] IFSC [Online] disponível em: <https://docente.ifsc.edu.br/rafael.grebogi/MaterialDidatico/FI C/Controle Eletrohidraulico e Eletropneumatico.pdf>, último acesso em: 03/06/2026.
- [16] Manpec [Online] disponível em: <https://manpec.com.br/sistema-hidraulico-o-que-e-como-funciona/>, último acesso em: 03/06/2026.
- [17] Ebay [Online] disponível em: https://www.ebay.com/itm/196829289304?chn=ps&norover=1&mkevt=1&mkrid=21527-227144-2056-1&mkcid=2&itemid=196829289304&targetid=307075688052&device=c&mkttype=pla&googleloc=1031872&poi=&campaignid=22132295431&mkgrouppid=173704455579&rlsatarget=pla-307075688052&abcId=&merchantid=633231082&gad_source=1&gad_campaignid=22132295431&gbraid=0AAAAAD_QDh-bx6u6rrG9--u8-MCKLXyd_&gclid=CjwKCAjwrNrQBhBjEiwAoR4VOx0T5lceut2PkQmFr0z9PrbKELxr87cx67vuRRcIrLqdSHjhORE2BoCFh8QAvD_BwE, último acesso em: 03/06/2026.

DADOS BIOGRÁFICOS

Douglas Ferreira, nasceu em Não-Me-Toque (RS), em 1985. É técnico em Mecânica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSUL), campus Passo Fundo (RS), formado em 2011, e graduado em Administração pelo Centro Universitário Leonardo da Vinci (UNIASSELVI), campus Lages (SC), em 2022. Atualmente, está em fase de conclusão do curso superior de Tecnologia em Automação Industrial. Com uma sólida trajetória no setor metalmeccânico, possui experiência profissional como torneiro mecânico e desenhista de estruturas metálicas. Atua na cidade de Panambi (RS) como montador de equipamentos industriais, integrando seus conhecimentos técnicos, administrativos e de automação no desenvolvimento e na otimização de processos fabris.