

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

THIAGO ONOFRE MAIA

**MONITORAMENTO REMOTO DO NÍVEL DE
COMBUSTÍVEL EM UM TANQUE**

VITÓRIA
2017

THIAGO ONOFRE MAIA

**MONITORAMENTO REMOTO DO NÍVEL DE COMBUSTÍVEL EM
UM TANQUE**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno Thiago Onofre Maia, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Hans Jorg Andreas
Schneebelli

VITÓRIA
2017

THIAGO ONOFRE MAIA

MONITORAMENTO REMOTO DO NÍVEL DE COMBUSTÍVEL EM UM TANQUE

Trabalho de Conclusão de Curso do acadêmico Thiago Onofre Maia, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Aprovada em 24 de fevereiro de 2017.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Hans Jorg Andreas Schneebelli
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Dr. Klaus Fabian Côco
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

Prof. Dra. Eliete Maria de Oliveira Caldeira
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinadora

“Cantai ao Senhor, bendizei o seu nome; anunciai a sua salvação de dia em dia.”
Salmo 96:2

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente a Deus por ter me sustentado até aqui e pelas pessoas que ele colocou no meu caminho.

Agradeço aos meus pais, José Antônio Maia Sobrinho e Angela Maria Onofre Maia, por terem buscado e lutado por aquilo que era o melhor para mim e por terem me acompanhado nesta jornada.

Agradeço o companheirismo e apoio da minha namorada Kamilla Ferrari Camargo.

Agradeço aos meus familiares por terem torcido e orado por mim, em especial ao meu irmão Gustavo Onofre Maia e sua esposa Elidamara Fontes Cordeiro Maia.

Agradeço ao meu orientador Hans Jorg Andreas Schneebelli pelo apoio e paciência que demonstrou durante a realização deste trabalho e a todo o corpo docente do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Espírito Santo.

RESUMO

Este trabalho apresenta o projeto do sistema de aquisição de dados que foi desenvolvido para atender a necessidade do Núcleo de Tecnologia da Informação da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) de conhecer a quantidade de combustível disponível no tanque externo do seu grupo motor-gerador de emergência. Primeiramente, foi feita uma pesquisa sobre as tecnologias que poderiam ser utilizadas para medir a quantidade de combustível no tanque. Uma vez identificada a tecnologia mais adequada para este projeto foram desenvolvidas as demais funcionalidades do sistema de aquisição de dados que permite que um computador integrado ao sistema de gerenciamento do Núcleo de Tecnologia da Informação monitore remotamente a quantidade de combustível no tanque do grupo motor-gerador. Por fim, foram feitos testes que demonstraram que é possível usar o sistema desenvolvido para monitorar o tanque de combustível.

Palavras-Chave: Monitoramento remoto; combustível.

ABSTRACT

This work presents the data acquisition system design that was developed to meet the need of the Information Technology Center of the Federal University of Espírito Santo to know the amount of fuel available in the external tank of its emergency generator set. First, the research was done based on the technologies that could be used to measure the amount of fuel in the tank. Once the most appropriate technology for this project was identified, the other functionalities of the data acquisition system were developed, which allows a computer integrated with the Information Technology Center management system to remotely monitor the amount of fuel in the tank of the generator set. Finally, tests were performed that demonstrated that it is possible to use the system developed to monitor the fuel tank.

Keywords: Remote monitoring. Fuel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tanque de combustível externo do grupo motor-gerador do NTI	17
Figura 2 - Indicador de nível do tanque	18
Figura 3 - Tabela utilizada para determinar a quantidade de combustível no tanque	19
Figura 4 - Tanque cilíndrico deitado	20
Figura 5 - Sistema de Aquisição de Dados	23
Figura 6 - Célula de carga.....	24
Figura 7 - Tanque cilíndrico deitado para o cálculo do volume de combustível.....	25
Figura 8 - Hardware do sistema de aquisição de dados.....	32
Figura 9 - Dreno onde é instalado o sensor de pressão.....	33
Figura 10 - Arquitetura Proposta	33
Figura 11 - Sensor 7715 da 3-RHO	34
Figura 12 - Sensor PT4800	35
Figura 13 - Ligação elétrica do sensor	35
Figura 14 - Amplificador não-inversor	36
Figura 15 - HX711	37
Figura 16 - Pinos do HX711	37
Figura 17 – HX711 em uma ponte Wheatstone.....	38
Figura 18 - Ponte Wheatstone alimentada pelo amplificador não-inversor	38
Figura 19 - Raspberry Pi.....	39
Figura 20 - Arquitetura completa	39

Figura 21 - Sistema de aquisição de dados implementado e instalado no NTI.....	41
Figura 22 - Sensor de pressão instalado no dreno do tanque.....	42
Figura 23 - Circuito de condicionamento do sinal de saída do sensor	43
Figura 24 - Placa de circuito impresso do circuito da Figura 23	44
Figura 25 - Comunicação com HX711	46
Figura 26 - Tubo de PVC.....	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Interpolação das médias da Tabela 4	51
Gráfico 2 - Pressão em função da leitura do sistema DAQ	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Seleção do canal e ganho do HX711	45
Tabela 2 - Medições realizadas enquanto se enchia o tubo de PVC	50
Tabela 3 - Medições realizadas enquanto se esvazia o tubo de PVC	51
Tabela 4 - Média, desvio-padrão e desvio-padrão das medições da Tabela 2 e Tabela 3	51
Tabela 5 - Médias das medições em função da pressão	52
Tabela 6 - Tabela de custos	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D – De analógico para digital

DAQ – *data acquisition*

NTI – Núcleo da Tecnologia da Informação

PVC – Policloreto de vinila

SNMP – *Simple Network Management Protocol*

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

LISTA DE SÍMBOLOS

$A(h)$	Área da secção transversal do tanque de combustível em contato com o diesel em função do nível
$A'(h)$	Metade da área da secção transversal do tanque de combustível em contato com o diesel em função do nível
D	Diâmetro do tanque de combustível
F	Força
g	Aceleração local da gravidade
G	Ganho do canal do conversor analógico para digital HX711
h	Nível de combustível no tanque
L	Comprimento do tanque
P	Pressão
P_{atm}	Pressão atmosférica
P_h	Pressão no fundo do tanque devido a presença de diesel
P_m	Pressão manométrica no fundo do tanque
$P_{máx}$	Pressão manométrica máxima no fundo do tanque
$P_{mín}$	Pressão manométrica mínima no fundo do tanque
r	Raio do tanque de combustível
R_3	Resistência na entrada inversora do circuito amplificador não-inversor
R_f	Resistência de realimentação do amplificador não-inversor
$V(h)$	Volume de combustível no tanque em função do nível
V_{cc}	Tensão de alimentação do HX711

$V_{\text{máx}}$	Tensão de entrada máxima no canal de entrada do HX711
$V_{\text{mín}}$	Tensão de entrada mínima no canal de entrada do HX711
V_{O}	Sinal de tensão de saída do amplificador não-inversor
V_{sensor}	Sinal de tensão de entrada do amplificador não-inversor

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Considerações Gerais	17
1.2	Medição da Quantidade de Combustível.....	19
1.5	Definição do Problema.....	21
1.6	Metodologia.....	21
1.7	Estrutura do Trabalho	22
2	MEDIÇÃO REMOTA DO VOLUME DE COMBUSTÍVEL.....	23
2.1	Medição do Volume	24
2.1.1	Medição do Peso	24
2.1.2	Medição de Nível	25
2.1.3	Escolha da Tecnologia de Medição.....	27
2.2	Medição de Nível por Pressão.....	29
2.3	Escolha do <i>Hardware</i> de Aquisição de Dados.....	31
2.3.1	Sensor de pressão	34
2.3.2	Amplificador	36
2.3.3	Conversor Analógico para Digital.....	36
2.3.4	Raspberry Pi	38
2.3	Arquitetura Proposta.....	39
3	IMPLEMENTAÇÃO E TESTES	41
3.1	Condicionamento do sinal de saída do sensor.....	42

3.2	Conversor A/D HX711.....	44
3.3	Raspberry Pi	46
4	TESTES E RESULTADOS	49
4.1	Teste de pressão.....	50
4.2	Teste de comunicação	53
5	CONCLUSÃO	55
	REFERÊNCIAS	57
	APÊNDICE A	59
	APÊNDICE B.....	61

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Gerais

O Núcleo de Tecnologia da Informação (NTI) é o órgão suplementar da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) responsável pela prestação de serviços de Tecnologia da Informação (NÚCLEO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO, 2017). O NTI ocupa um prédio próprio no campus de Goiabeiras, UFES, Vitória/ES.

Para garantir a continuidade de seus serviços, no caso de falha no abastecimento de energia elétrica convencional, o NTI possui uma pequena usina geradora instalada ao lado de suas dependências.

A usina é constituída por um grupo motor-gerador e seus equipamentos auxiliares, baterias de partida, amortecedores de vibração, silenciadores, descarga, equipamentos de controle e comutação associados, e é usada para o suprimento de energia no caso de ocorrer alguma falha no sistema de abastecimento de energia convencional. Também há um tanque de combustível externo com capacidade de 486 l de óleo diesel. Essa quantidade de combustível garante a continuidade do serviço do grupo motor-gerador do NTI por, aproximadamente, 10 horas. A Figura 1 apresenta o tanque em questão.

Figura 1 - Tanque de combustível externo do grupo motor-gerador do NTI



Fonte: Produção do próprio autor.

A altura do nível de combustível em relação ao fundo do tanque pode ser visualmente aferida através do indicador de nível instalado na lateral do tanque, sendo que, a Figura 2 apresenta o indicador de nível. Para estimar a quantidade de combustível disponível no tanque, o funcionário deve verificar o nível e achar a quantidade em litros de combustíveis correspondente a esse nível em uma tabela disponível no mesmo ambiente do tanque.

Figura 2 - Indicador de nível do tanque



Fonte: Produção do próprio autor.

A Figura 3 apresenta a tabela utilizada para verificar o volume de combustível disponível no tanque.

Figura 3 - Tabela utilizada para determinar a quantidade de combustível no tanque

Altura (cm)	Tem (litros)	Falta (litros)	Altura (cm)	Tem (litros)	Falta (litros)
1	485	1	38	255	251
2	483	4	39	228	286
3	479	7	40	218	296
4	476	10	41	210	296
5	472	14	42	201	285
6	467	19	43	193	293
7	463	23	44	185	301
8	458	28	45	177	309
9	452	34	46	168	318
10	447	39	47	160	326
11	443	45	48	152	334
12	438	51	49	144	342
13	433	57	50	137	348
14	428	64	51	129	357
15	422	71	52	121	365
16	418	77	53	114	372
17	408	84	54	106	380
18	398	91	55	98	387
19	387	99	56	91	395
20	380	106	57	84	402
21	372	114	58	77	409
22	365	121	59	71	415
23	357	129	60	64	422
24	348	137	61	57	429
25	342	144	62	51	435
26	334	152	63	45	441
27	326	160	64	39	447
28	318	168	65	34	452
29	309	177	66	28	458
30	301	185	67	23	463
31	293	193	68	19	467
32	286	201	69	14	472
33	276	210	70	10	476
34	268	218	71	7	479
35	260	226	72	4	482
36	251	235	73	1	485
37	243	243	74	0	488

Fonte: Produção do próprio autor.

O NTI não possui nenhum sistema de monitoramento remoto que indique a quantidade de combustível disponível no tanque. Sendo assim, é necessário que um funcionário do NTI verifique, no local, o nível do tanque periodicamente para determinar a quantidade de combustível no tanque e encher caso seja necessário.

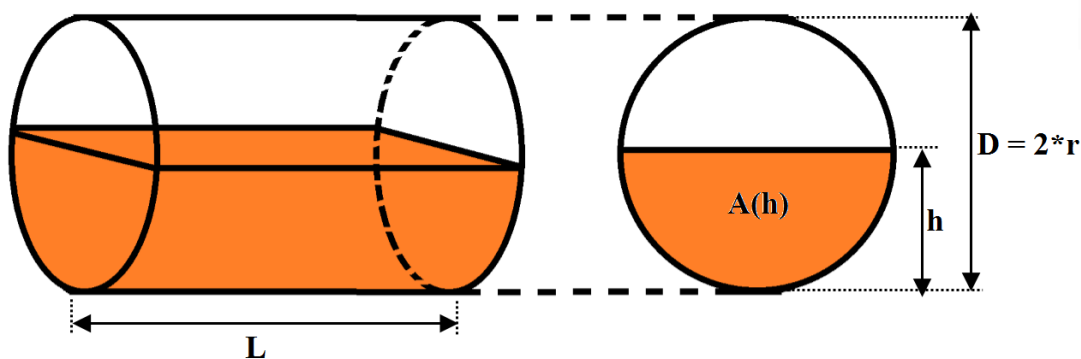
1.2 Medição da Quantidade de Combustível

No estocamento de líquidos, uma vez conhecido o nível, o formato do reservatório e suas dimensões é possível determinar o volume do líquido estocado (BAVARESCO; LIMA; ZANETTE, 2012).

O nível de um líquido em um reservatório é definido como sendo a altura da superfície do líquido em relação a um ponto de referência, como o fundo do reservatório (CASSIOLATO, 2010). No caso estudado, trata-se de um tanque cilíndrico deitado com 114 cm de comprimento e 74 cm de diâmetro, conforme a Figura 4. Logo, o volume de combustível disponível é

determinado multiplicando a área da secção transversal do tanque em contato com o combustível (que é uma função do nível) pelo seu comprimento, como pode ser visto na figura.

Figura 4 - Tanque cilíndrico deitado



Fonte: Produção do próprio autor..

$$V(h) = A(h) \times L \quad (1)$$

Onde:

$V(h)$ = volume de combustível no tanque em função do nível

$A(h)$ = área da sessão transversal do tanque em contato com o combustível em função do nível

L = comprimento do tanque

Sendo assim, pode-se afirmar que, é possível calcular a quantidade de combustível no tanque desde que o nível de combustível, o formato e as dimensões do tanque sejam conhecidas.

Existem dois tipos de medição de nível (FIALHO, 2002):

- Direta;
- Indireta.

Os tipos de medições nível diretas e indiretas descontínuos não são abordados neste trabalho. Esses tipos de medições caracterizam-se por indicar se o nível de combustível atingiu níveis específicos, como por exemplo, um sensor aciona um alarme indicando que o nível do combustível no tanque está baixo (CASSIOLATO, 2010).

Na medição direta, o nível é determinado medindo-se diretamente a distância entre o nível do produto e um referencial previamente definido (FIALHO, 2002). Ela pode ser feita através de observação visual utilizando visores de nível como o que já está instalado no tanque, conforme apresentado na Figura 2 anteriormente mencionada, ou através de sensores como, por exemplo,

o sensor de nível ultrassônico. A medição indireta pode ser feita medindo alguma grandeza física que varie em função do nível e usá-la para determinar o nível indiretamente (FIALHO, 2002). Vale observar que a norma ABNT NBR 17505-6 estabelece que equipamentos e cabeamento elétrico, na presença de líquidos inflamáveis, podem ser uma fonte de ignição para o líquido combustível ou o vapor inflamável na instalação, seja sob condições normais de operação ou devido a vazamentos (ABNT, 2013).

1.5 Definição do Problema

Monitorar a quantidade de combustível no tanque do externo do grupo motor-gerado do NTI da UFES de maneira que qualquer computador integrado ao sistema de gerenciamento do NTI possa ser utilizado para verificar o *status* do tanque remotamente. Essa informação é importante pois permite verificar a autonomia do NTI em relação ao sistema de abastecimento de energia elétrica convencional, como também, garantir que o grupo motor-gerador não deixe de entrar em operação devido à falta de combustível.

Esse sistema (*hardware e software*) deve atender alguns requisitos:

- utilizar componentes de baixo custo,
- utilizar componentes de fácil aquisição para facilitar a manutenção e substituição em caso de falha,
- consumir pouca energia,
- utilizar *softwares* livres de *royalties*,
- possuir uma estrutura que permita fácil expansão para outros sensores,
- não ser fonte de ignição para o diesel ou vapor de diesel presente no local sob condições normais de operação ou devido a vazamento,
- usar placas já existentes com Linux embarcado.

1.6 Metodologia

Para a concretização deste estudo são necessárias, primeiramente, inspeções no local e no tanque para obter as informações necessárias para a análise da viabilidade das soluções observadas como as dimensões do tanque. Feito isso, algum elemento sensor deve ser instalado

no tanque forneça algum tipo de sinal de saída para ser utilizado na determinação do nível de combustível no tanque. Sendo assim, é feita uma pesquisa de possíveis sensores, transdutores e instrumentos que possam ser utilizados para determinar o nível do tanque de maneira direta ou indireta.

Para cada solução estudada observa-se a tecnologia e a técnica envolvida no processo de medição e a viabilidade de reproduzi-la ou adquiri-la pronta. Cada solução estudada deve ser capaz de gerar um sinal de saída, condicioná-lo de maneira que possa ser transmitido, medido e convertido em um sinal digital.

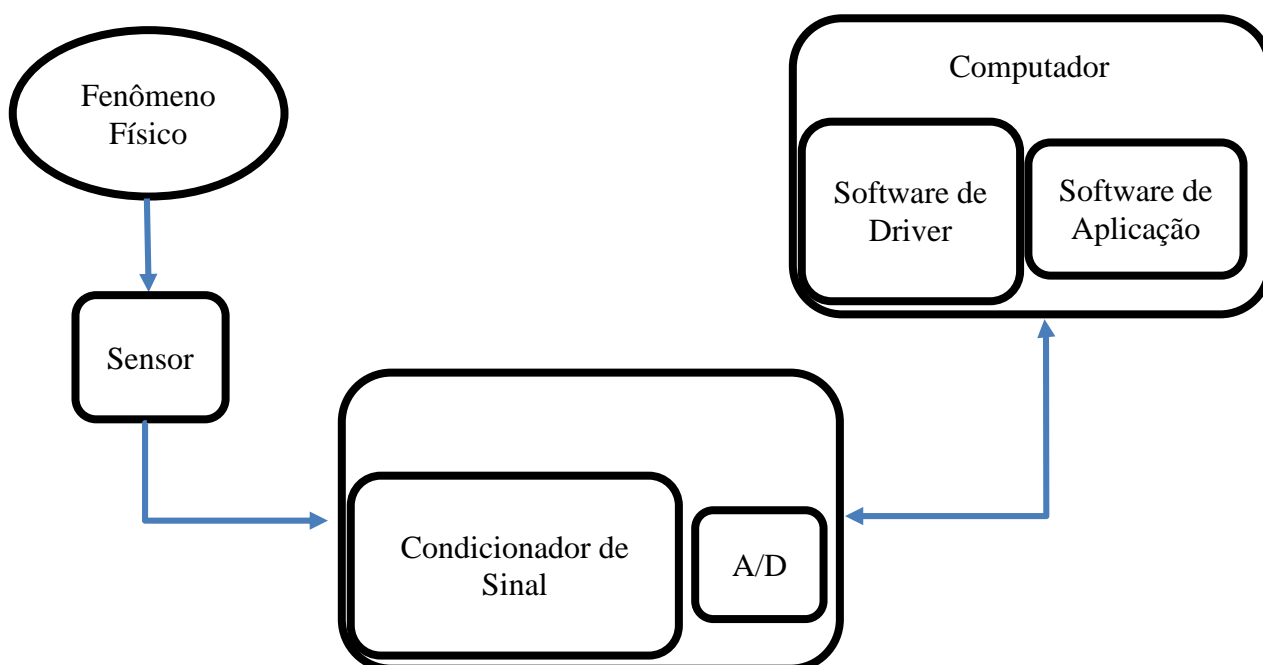
1.7 Estrutura do Trabalho

No Capítulo 1 é apresentada a motivação, a definição do problema e a metodologia usada no desenvolvimento do referido estudo. Já o Capítulo 2 é destinado à análise e à documentação das alternativas para o sensoriamento do nível do tanque de combustível e da arquitetura do sistema de aquisição de dados. O Capítulo 3 é destinado a documentar e apresentar o sistema de aquisição de dados e os detalhes do seu funcionamento. Os Capítulos 4 e 5 destinam-se aos resultados dos testes e as conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos futuros, respectivamente.

2 MEDIÇÃO REMOTA DO VOLUME DE COMBUSTÍVEL

A medição da quantidade de combustível no tanque externo e a transmissão dessa informação para o sistema de gerenciamento do NTI pode ser feita através de um sistema de aquisição de dados (NATIONAL INSTRUMENTS, 2017). Basicamente, um sistema de aquisição de dados é constituído por um sensor (que traduz a grandeza medida em um sinal de saída mensurável), um dispositivo *data acquisition* (DAQ) que é responsável por condicionar o sinal de saída do sensor e digitalizá-lo e um computador para processar o sinal (NATIONAL INSTRUMENTS, 2017). A Figura 5 apresenta o esquema básico de um sistema de aquisição de dados.

Figura 5 - Sistema de Aquisição de Dados



Fonte: Produção do próprio autor.

Um sistema de aquisição de dados capaz de medir o volume de combustível remotamente necessita de um sensor para fornecer um sinal de saída correspondente à grandeza de medida, sendo que, a informação contida nesse sinal é utilizada para o cálculo da quantidade de combustível, seja de forma direta ou indireta (NATIONAL INSTRUMENTS, 2017). Dependendo da natureza do sinal de saída do sensor, é necessário o seu condicionamento para que possa ser transmitido, digitalizado e processado pelo sistema responsável por monitorar o *status* do tanque (NATIONAL INSTRUMENTS, 2017).

Como a natureza do sinal de saída utilizado para calcular a quantidade de combustível é o que define a complexidade das demais funcionalidades do sistema, a escolha do instrumento ou tecnologia de medição é a decisão mais crítica deste trabalho.

2.1 Medição do Volume

Existem duas maneiras básicas de se calcular o volume do líquido estocado em um tanque:

1. Medição do peso do tanque,
2. Medição do nível de combustível no tanque.

2.1.1 Medição do Peso

A medição da quantidade de um material estocado por pesagem consiste na aplicação de células de carga (sensores de deformação e/ou força) que irão medir o peso total do reservatório (FIALHO, 2002).

À medida que o material é estocado no reservatório, a força que atua sobre as células de carga aumenta e subtraindo o peso do reservatório da leitura da célula de carga, tem-se o peso do material (FIALHO, 2002). Com essa informação é possível calcular o volume do combustível no tanque desde que a sua densidade seja conhecida e não varie substancialmente devido a variação da temperatura ou devido a mudanças de fornecedores (BEGA et al., 2006). A Figura 6 apresenta uma célula de carga. Esses instrumentos são tipicamente caros, sendo assim, não são utilizados neste projeto.

Figura 6 - Célula de carga



Fonte: <<http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/segmento/celulas-de-carga/>>

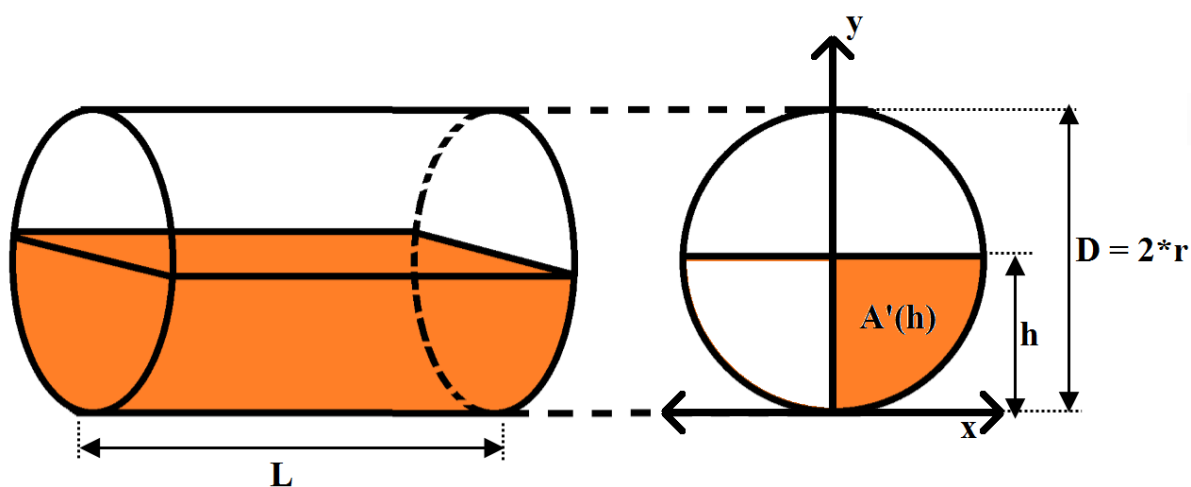
2.1.2 Medição de Nível

A determinação da quantidade de líquidos em reservatório pode ser calculada, através da determinação do nível do mesma (LIMA; ZANETTE; BAVARESCO, 2012).

Nível pode ser definido como uma medida de comprimento entre a superfície do líquido e um ponto de referência, geralmente o fundo do reservatório. Uma vez conhecidas as dimensões e a forma do reservatório e o nível, é possível calcular o volume de líquido estocado (LIMA; ZANETTE; BAVARESCO, 2012).

No caso em questão, o reservatório do combustível é um tanque cilíndrico deitado, logo, o volume total de combustível no tanque pode ser calculado multiplicando o comprimento do tanque L pela área $A(h)$ da secção transversal do tanque em contato com o combustível, conforme Figura 7. Para o cálculo da área da secção transversal em contato com o combustível tem-se:

Figura 7 - Tanque cilíndrico deitado para o cálculo do volume de combustível



Fonte: Produção do próprio autor..

$$A(h) = 2 \times A'(h) \quad (2)$$

$$A(h) = 2 \times \int_0^h \sqrt{r^2 - (y-r)^2} \, dy \quad (3)$$

$$A(h) = (h-r) \times \sqrt{r^2 - (h-r)^2} + r^2 \times \left[\left(\sin^{-1} \frac{(h-r)}{r} \right) - \frac{\pi}{2} \right] \quad (4)$$

Logo a equação que é utilizada neste trabalho para calcular o volume do tanque é o produto da Equação (4) e o comprimento do tanque L:

$$V(h)=L \times \left\{ (h-r) \times \sqrt{r^2-(h-r)^2} + r^2 \times \left[\left(\sin^{-1} \frac{(h-r)}{r} \right) - \frac{\pi}{2} \right] \right\} \quad (5)$$

Onde:

$V(h)$ = volume de combustível no tanque em cm^3

$A(h)$ = área da seção transversal do tanque em contato com o combustível em cm^2

$A'(h)$ = metade da área da seção transversal do tanque em contato com o combustível, em cm^2

L = comprimento do tanque em cm

r = raio do tanque em cm

Uma vez conhecidos o nível e as dimensões do tanque cilíndrico deitado é possível calcular o volume de combustível em cm^3 , sendo assim, o volume de combustível em função do nível no tanque cilíndrico com 113 cm de comprimento e 34,5 cm de raio é calculado com a Equação (5).

$$V(h)=113 \times \left[(h-34,5) \times \sqrt{r^2-(h-34,5)^2} + 34,5^2 \times \left(\sin^{-1} \frac{(h-34,5)}{34,5} - \frac{\pi}{2} \right) \right] \quad (6)$$

A Equação (6) é utilizada para calcular o volume de combustível em cm^3 , sendo que, para calcular o volume em litros é necessário multiplicar a Equação (5) por 10^{-3} , logo:

$$V_1(h)=V(h) \times 10^{-3} \quad (7)$$

$$V_1(h) = 0,113 \times \left[(h-34,5) \times \sqrt{r^2-(h-34,5)^2} + 34,5^2 \times \left(\sin^{-1} \frac{(h-34,5)}{34,5} - \frac{\pi}{2} \right) \right] \quad (8)$$

Onde:

$V_1(h)$ = volume de combustível no tanque cilíndrico em função do nível em l

Uma vez que a Equação (8) permite calcular a quantidade de combustível no tanque em litros, é necessário determinar qual tecnologia deve ser utilizada para medir o nível no tanque. Para tanto, são avaliados os métodos de medição diretos:

- Indicadores e visores de nível,
- Medidores de nível com boias e flutuadores.

Como também os métodos de medição de nível indiretos:

- Medidores de nível tipo deslocador,
- Medidores de nível tipo hidrostático,
- Medidores de nível tipo capacitivo,
- Medidores de nível tipo por condutividade/admitância,
- Medidores de nível tipo por ultrassom,
- Medidores de nível tipo por radar,
- Medidores de nível tipo por radiação,
- Medidores de nível do tipo laser.

2.1.3 Escolha da Tecnologia de Medição

Cada uma das tecnologias de medição de nível e peso possuem vantagens e desvantagens sendo necessária uma análise para determinar qual tipo de sensor deveria ser utilizado no presente estudo. Para tanto é necessário primeiramente estabelecer os requisitos básicos a serem atendidos pelo sensor. São eles:

- Ser de baixo custo.
- Ser de fácil substituição.
- Não deve oferecer riscos à instalação.
- Apresentar baixo custo de manutenção e instalação.

Para medir a quantidade de combustível por peso é necessário pelo menos uma célula de carga, mas o custo do instrumento, da instalação, da manutenção e calibração torna essa tecnologia inviável para este trabalho (BEGA et al., 2006).

Indicadores de nível e visores são tecnologias de medição utilizados para permitir que o nível seja verificado em uma inspeção local. Boias, flutuadores possuem componentes mecânicos, o que aumenta a necessidade de manutenção. No caso dos deslocadores, o custo para instalação é alto (BEGA et al., 2006).

Sensores de nível capacitivos, condutivos ou por admitância têm a curva de calibração afetada pela variação da constante dielétrica do produto e assim como os sensores de ultrassom, são métodos intrusivos e necessitam de certificação especial para garantir a segurança na medição de líquidos inflamáveis ou combustíveis, aumentando o custo de sua aplicação (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2007).

Sensores de nível do tipo radar e laser são tipicamente de custo elevado, sendo que o tempo de leitura do sinal de retorno deve ser muito rápido para medir pequenas distâncias (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2007).

Sensores de nível que utilizam radiação são mais caros que os sensores convencionais, possuem alto custo de instalação, manutenção, licenciamento e ainda é necessário investir na qualificação de pessoal para a sua utilização (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2007).

O sensor de pressão é uma das tecnologias mais usadas na medição de nível de líquidos. Esses sensores são de fácil instalação e se alguma adaptação for necessária para sua instalação são tipicamente de baixo custo quando comparada as demais tecnologias. Esses sensores também são robustos e por não ser um método de medição intrusivo não oferece riscos à instalação sendo a tecnologia escolhida para este projeto (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2007).

A curva de calibração é sensível à variação da massa específica do líquido medido, contudo, o líquido medido é o óleo diesel metropolitano que apresenta massa específica de 820 kg/m^3 a 865 kg/m^3 , sendo que, a massa específica do óleo diesel do interior é de 820 kg/m^3 a 880 g/m^3 (POSTO ZERO, 2014). Como a de massa específica do diesel metropolitano não varia substancialmente, é usada a média dos valores máximo e mínimo da massa específica do diesel metropolitano como o valor da massa específica do diesel para este trabalho.

2.2 Medição de Nível por Pressão

Pode-se definir pressão como a força aplicada na direção perpendicular por unidade de área.

$$P = \frac{F}{A} \quad (8)$$

Sendo que:

$$\left[\frac{N}{m^2} \right] = [\text{pascal}] = [10^{-5} \text{bar}] \quad (9)$$

A medição da pressão pode ser feita em termos absolutos, que é medida da diferença entre a pressão de interesse e a pressão absoluta zero, ou seja, vácuo completo (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2007). Essa pressão é chamada de pressão absoluta (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2007).

Já o resultado da medição da diferença entre a pressão de interesse e a pressão atmosférica local é chamada de pressão manométrica (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2007). Quando é medida a diferença entre a pressão de interesse e uma pressão diferente da pressão atmosférica e da pressão do vácuo completo, é chamada de pressão diferencial (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2007). A medição de pressão diferencial é mais cara das três e não foi utilizada neste trabalho.

Quando é medida a pressão absoluta em um determinado ponto de um reservatório aberto (como no caso deste trabalho) preenchido por líquido, a pressão medida depende da altura ou nível da coluna de líquido acima deste ponto e a pressão atmosférica local (SMAR, 2010). A relação dessa pressão com a altura da coluna líquida pode ser explicada pelo Teorema de Stevin (SMAR, 2010):

$$P_m = P_h + P_{atm} \quad (10)$$

$$P_m = h \times \delta \times g + P_{atm} \quad (11)$$

$$h = \frac{(P_m - P_{atm})}{\delta \times g} \quad (12)$$

Onde:

P_{atm} = pressão atmosférica

P_m = pressão medida no fundo do reservatório

P_h = pressão devido a coluna de líquido no reservatório

h = altura da coluna líquida em relação ao ponto de medição

g = aceleração da gravidade no local

δ = massa específica do líquido

Sendo assim, o nível pode ser calculado indiretamente medindo-se a pressão exercida pela coluna líquida desde que a massa específica do líquido e a pressão atmosférica sejam conhecidas e não variem substancialmente (SMAR, 2010).

No caso da pressão manométrica, a pressão medida é em relação a pressão da atmosfera, ou seja, quando o reservatório aberto estiver vazio, o sensor mede a pressão da atmosfera no local e essa medição equivale ao zero do sensor. Logo, a pressão medida pelo sensor depende exclusivamente do nível do líquido em relação ao ponto de medição. Sendo assim, para calcular o nível com base na pressão manométrica tem-se:

$$P_m = P_h \quad (13)$$

$$P_m = h \times \delta \times g \quad (14)$$

$$h = \frac{P_m}{\delta \times g} \quad (15)$$

Para realização deste trabalho a pressão exercida pela atmosfera no tanque foi considerada igual à pressão atmosfera no nível do mar, uma vez que as dependências do NTI estão a aproximadamente a 3,2 m do nível do mar. Sendo assim:

$$P_{atm} = 1 \text{ atm} = 10,333 \text{ mca} = 1,013 \text{ bar} \quad (16)$$

Onde *mca* é metro de coluna d'água.

O líquido é o diesel que possui massa específica que varia de 820 kg/m³ a 865 kg/m³ à 20 °C, assumindo o valor médio de 842,5 kg/m³ e que a coluna de diesel máxima é de 75 cm, tem-se:

$$P_{\text{máx}} = P_{\text{atm}} + P_h \quad (17)$$

$$P_{\text{máx}} = 1,013 + h \times \delta \times g \quad (18)$$

$$P_{\text{máx}} = 1,013 + 0,062 \quad (19)$$

$$P_{\text{máx}} = 1,075 \text{ bar} \quad (20)$$

A pressão mínima ocorre quando o tanque está vazio e conseqüentemente a pressão exercida é apenas a da pressão atmosférica, já que a pressão devido à coluna de diesel é nula:

$$P_{\text{mín}} = 1,013 \text{ bar} \quad (21)$$

2.3 Escolha do *Hardware* de Aquisição de Dados

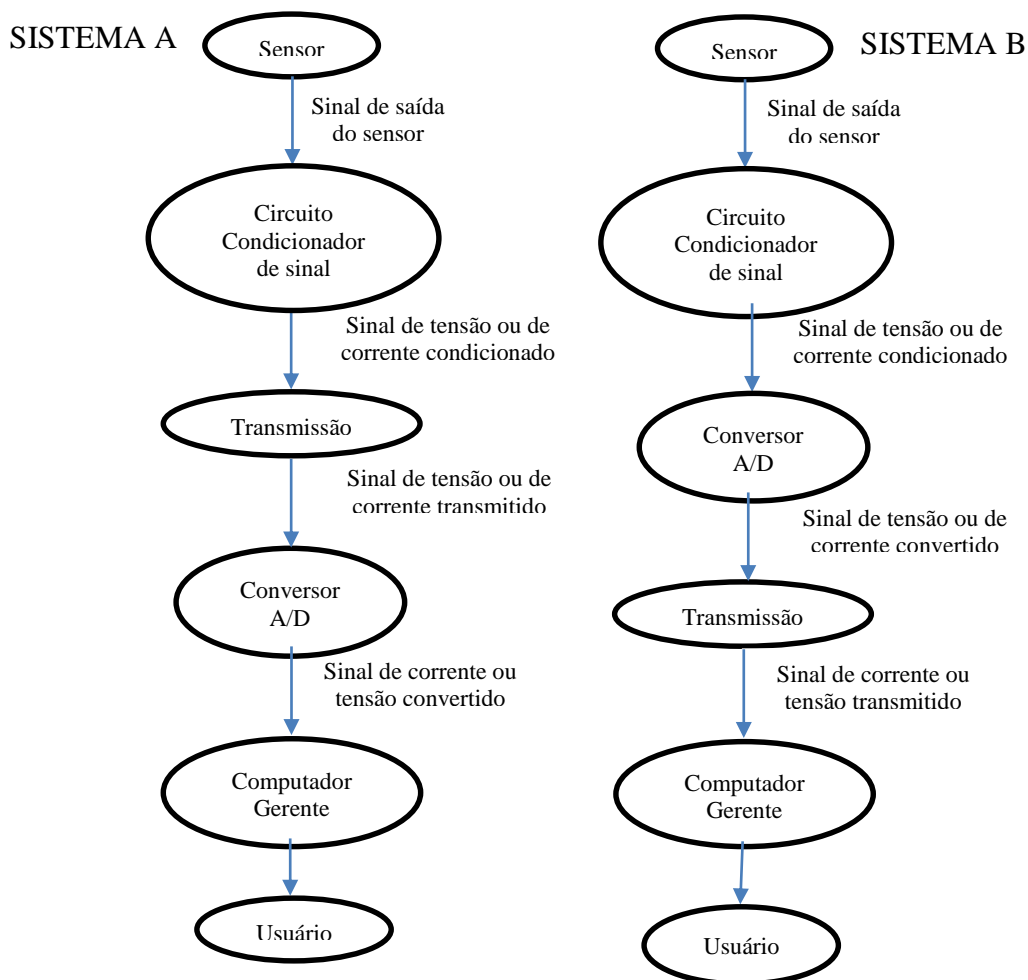
Sensores de pressão, traduzem a pressão medida em algum outro tipo de grandeza que possa ser avaliada, como por exemplo, uma variação ôhmica ou um sinal de tensão ou de corrente.

Para o condicionamento é necessário converter o sinal de saída do sensor de pressão em um sinal elétrico equivalente de tensão ou de corrente. Esse sinal pode ser transmitido na forma analógica e depois convertido para a forma digital de maneira que possa se comunicar com o computador do sistema, como apresentado no Sistema A na Figura 8. Outra solução seria converter o sinal analógico para digital antes da transmissão e, se necessário adaptá-lo, para se comunicar com o computador, como apresentado no Sistema B na Figura 8. Neste trabalho é utilizado o Sistema B.

O sinal de saída do sensor pode ser transmitido na forma de corrente ou de tensão. No caso, o padrão *loop* de corrente é de 4 mA a 20 mA e transmite sinais de controle através de um par de condutores, onde, a corrente de 4 mA representa o “zero por cento” e 20 mA representa “100 por cento” de uma grandeza e é de fácil instalação (POENESSA; MCDUFFE, 2017).

O “zero vivo” em 4 mA permite que se detecte se um fio foi rompido, interrompendo a circulação de corrente, ou no caso, de um instrumento ser desativado indevidamente (POENESSA; MCDUFFE, 2017).

Figura 8 - Hardware do sistema de aquisição de dados



Fonte: Produção do próprio autor.

Sendo assim, na arquitetura proposta para este trabalho, o sinal de saída do sensor é transmitido para o circuito para o seu condicionamento na forma de um sinal de corrente analógica de 4 mA a 20 mA.

Essa escolha é devido ao fato de que os sinais de tensão são mais sensíveis à ruídos e o ambiente onde o sensor é instalado é sujeito à ruídos mecânicos e eletromagnéticos devido ao funcionamento do grupo motor-gerador, que está do lado do tanque de combustível externo. O sensor é instalado no dreno que fica na parte inferior do tanque, ver Figura 9.

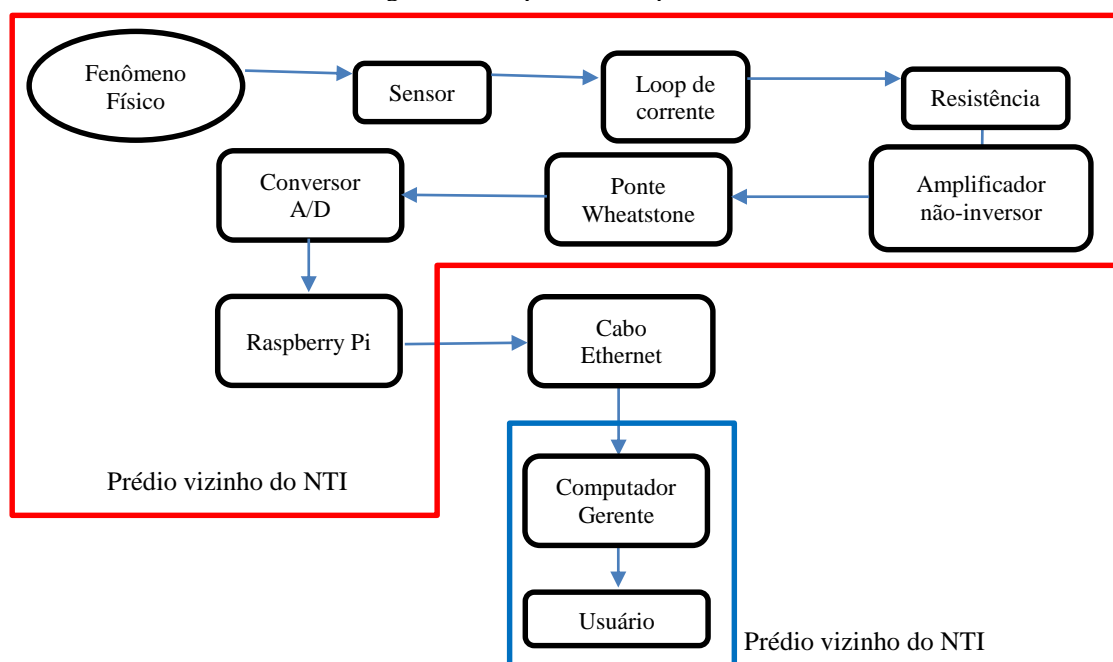
Figura 9 - Dreno onde é instalado o sensor de pressão



Fonte: Produção do próprio autor..

O tanque de combustível do grupo motor-gerador ficam em um prédio vizinho do prédio do NTI e a conversão do sinal de corrente de 4 mA a 20 mA em um sinal digital é feita antes de ser transmitido para o computador gerente, que está no prédio do NTI. O sinal digital é transmitido por um cabo Ethernet utilizando o protocolo *Simple Network Management Protocol* (SNMP). A arquitetura proposta completa desse sistema pode ser vista na Figura 10.

Figura 10 - Arquitetura Proposta



Fonte: Produção do próprio autor..

Pode-se observar que o sinal de corrente de 4 mA a 20 mA pode ser transmitido diretamente para o prédio do NTI e depois digitalizado para ser utilizado pelo computador gerente. Contudo,

é escolhido digitalizar o sinal de corrente no prédio vizinho do NTI e depois transmiti-lo via cabo Ethernet para o computador gerente.

Essa escolha é feita por que o sistema de aquisição de dados desenvolvido pode ser utilizado para monitorar outros sensores, além do sensor de pressão. Sendo assim, o sistema de aquisição de dados transmite o sinal digital, através do cabo Ethernet, contendo o resultado do monitoramento de todos os sensores no local para computador gerente do NTI. Assim, o computador gerente pode monitorar todos os sensores através do sinal digital vindo de um único cabo Ethernet.

2.3.1 Sensor de pressão

Os sensores de pressão automotivos são de menor custo do que os sensores industriais, portanto, foi avaliado o sensor 7715 da 3-RHO, que é apresentado na Figura 14. Esse sensor traduz a pressão medida em variação ôhmica entre os terminais do seus pinos, que estão indicados por uma seta vermelha na Figura 11 (3-RHO, 2017).

O sensor mede de 0 a 1,5 bar e os valores de referência da resistência entre os pinos do sensor são de 10 ohm para 0 bar e 114 para 0,9 bar, sendo que a resistência entre os pinos varia linearmente com a pressão (VDO, 2014). Contudo, em testes preliminares o sensor mostrou-se insensível na faixa de pressão que se deseja medir, que é de 0 a 0,062 bar de pressão manométrica (VDO, 2014).

Figura 11 - Sensor 7715 da 3-RHO



Fonte: 3-RHO (2017).

Portanto, utilizou-se o sensor de pressão monométrica PT4800 da *Provider Controls*, que pode ser visto na Figura 12, que mede de 0 a 0,2 bar com a precisão de 0,25 % de fundo de escala e tem como sinal de saída uma corrente de 4 a 20 mA. O esquema da ligação elétrica para a

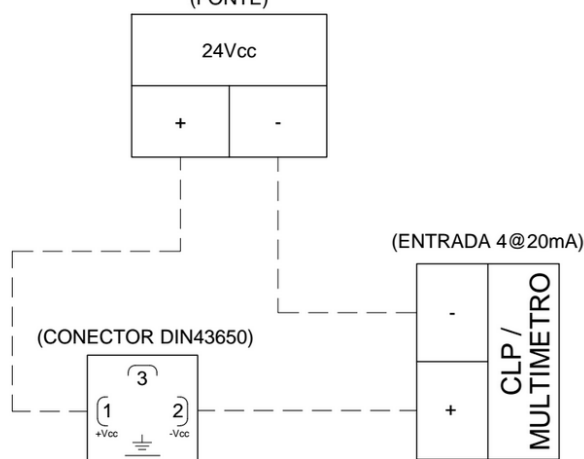
utilização do sensor pode ser visto na Figura 13. O sensor aceita ser alimentado com tensões de 12V a 36V, sendo 24 V a tensão típica de alimentação (PROVIDER CONTROLS, 2017).

Figura 12 - Sensor PT4800



Fonte: PROVIDER CONTROLS (2017).

Figura 13 - Ligação elétrica do sensor
(FONTE)



Fonte: PROVIDER CONTROLS (2017).

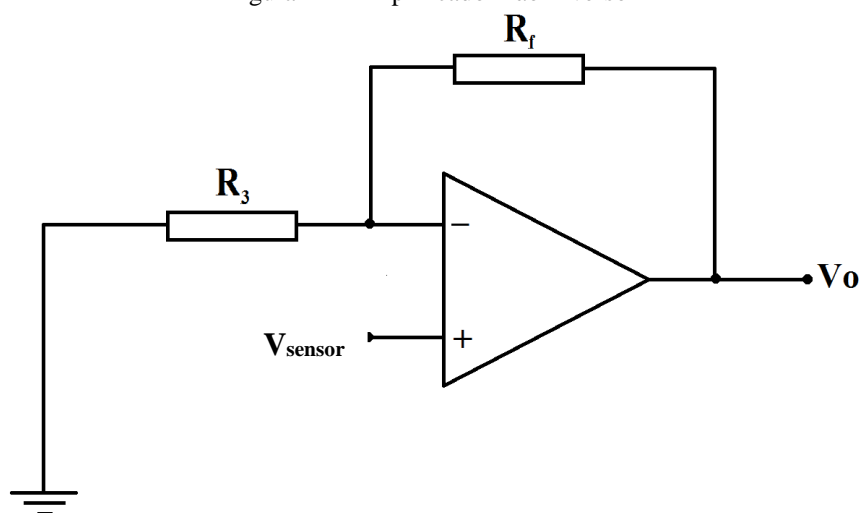
Neste trabalho, o sensor PT4800 medirá 0 a 0,062 bar de pressão monométrica o que equivale um sinal de corrente de 4 a 8,96 mA como sinal de saída do sensor. Utilizando uma resistência de 1Ω no lugar do multímetro, tem-se, uma tensão nos terminais do resistor devido a circulação dessa corrente, de 4 mA a 8,96 mA, de 4 mV para o tanque vazio e 8,96 mV para o tanque cheio. Sendo assim, a tensão nos terminais do resistor pode ser amplificada antes de ser utilizada como sinal de entrada em um conversor de analógico para digital (A/D).

2.3.2 Amplificador

O objetivo desta etapa é condicionar o sinal de tensão no resistor para o conversor A/D. Para tanto, o sinal da tensão nos terminais do resistor de $1\ \Omega$ é utilizado como sinal de entrada no amplificador operacional na configuração não-inversora apresentado na Figura 14.

$$V_0 = \left(1 + \frac{R_f}{R_3}\right) \times V_{\text{sensor}} \quad (22)$$

Figura 14 - Amplificador não-inversor



Fonte: Produção do próprio autor.

O V_{sensor} na Figura 14 é o sinal de tensão no terminal do resistor de $1\ \Omega$ e R_3 e R_f são resistências de $100\ \Omega$ e $33000\ \Omega$, respectivamente. Com esses valores a saída do V_0 é igual a 331 maior que a tensão V_{sensor} . Sendo assim V_0 será igual a $1,324\ \text{V}$ para o tanque vazio e $2,97\ \text{V}$ para o tanque cheio.

2.3.3 Conversor Analógico para Digital

Para converter o sinal analógico do amplificador não-inversor, apresentado na Figura 14, em um sinal digital é utilizado o conversor HX711 de 24 bits de resolução, que pode ser visto na Figura 15. O sensor possui dois canais de entrada sendo que o canal A pode ser programado para converter a faixa de tensão diferencial de $\pm 20\ \text{mV}$ ou $\pm 40\ \text{mV}$ e o canal B converte a faixa de tensão de $\pm 80\ \text{mV}$, quando o conversor é alimentado com $5\ \text{V}$ (AVIA SEMICONDUCTOR, 2017).

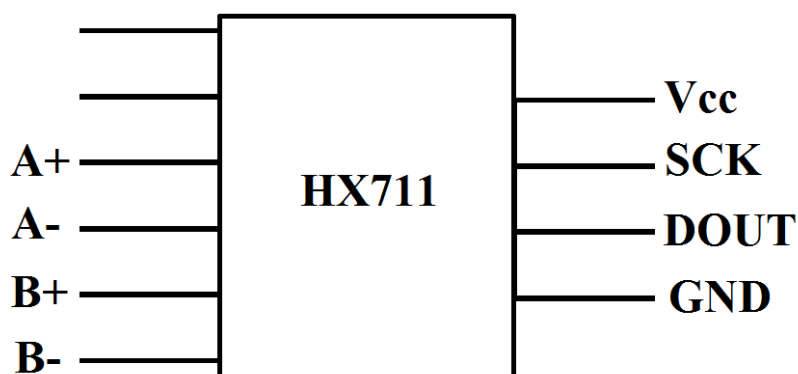
Figura 15 - HX711



Fonte: <<http://www.filipeflop.com/pd-36af07-modulo-conversor-hx711-para-sensor-de-peso.html>>

Os esquema dos pinos do HX711 pode ser visto na Figura 16, o conversor possui 2 pinos para cada canal de entrada. O HX711 pode ser alimentado com uma tensão de 5 V, que é feita através dos pinos Vcc e GND e os pinos SCK e DOUT são usados na comunicação sendo o SCK o pino de entrada de sincronização e o DOUT o pino de saída de dados.

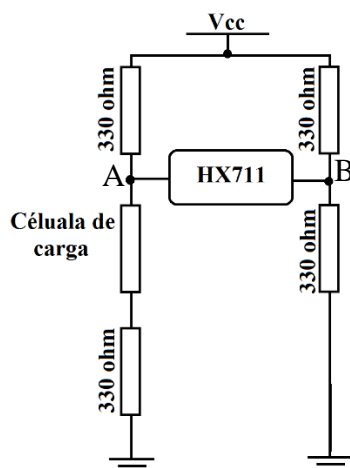
Figura 16 - Pinos do HX711



Fonte: Produção do próprio autor.

Esse conversor é indicado para sistemas de medição de peso que utilizem ponte Wheatstone e células de carga, como na Figura 17. A tensão entre os nós A e B da ponte Wheatstone da Figura 17 depende da resistência da célula de carga, que é diretamente proporcional ao peso medido pela célula. Sendo assim, a tensão entre os nós A e B é proporcional ao peso medido pela célula de carga, logo, o HX711 converte a tensão entre os nós A e B em um sinal digital que é utilizado para calcular o peso medido pela célula de carga.

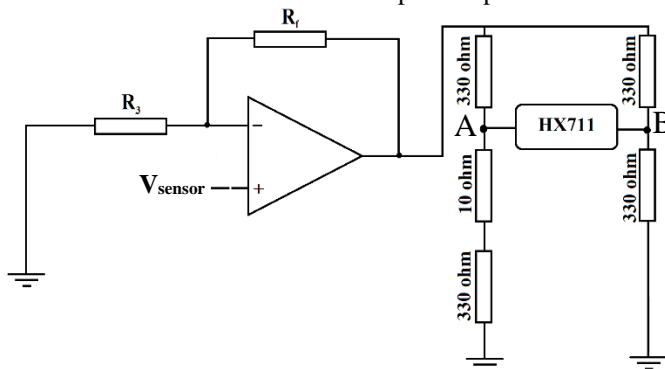
Figura 17 – HX711 em uma ponte Wheatstone



Fonte: Produção do próprio autor.

Senso assim, é utilizada uma ponte Wheatstone em desequilíbrio alimentada pela saída do sinal do amplificador não-inversor. O esquema dessa arquitetura e os valores de resistência utilizados na ponte estão apresentados na Figura 18. Como o sinal de tensão de saída do amplificador não-inversor varia de acordo com a pressão medida pelo sensor PT4800, a tensão entre os nós A e B, indicado na Figura 19, irá variar em função da pressão medida pelo sensor. Quando a pressão medida pelo sensor é 0,062 bar, o que ocorre quando o tanque está cheio, a tensão de saída do amplificador não-inversor é 2,97 V e a tensão entre os nós A e B é de 37,31 mV. Quando a pressão medida pelo sensor é 0 bar, a tensão entre os nós A e B é 9,88 mV.

Figura 18 - Ponte Wheatstone alimentada pelo amplificador não-inversor



Fonte: Produção do próprio autor.

2.3.4 Raspberry Pi

Raspberry, Figura 19, é um computador do tamanho de um cartão de crédito, que se conecta a um monitor de computador ou TV. Essa tecnologia não consome muita energia, opera com

Linux embarcado (livre de *royalties*), pode ser facilmente substituída em caso de falha e permite a expansão do número de sensores do sistema de aquisição de dados.

Figura 19 - Raspberry Pi



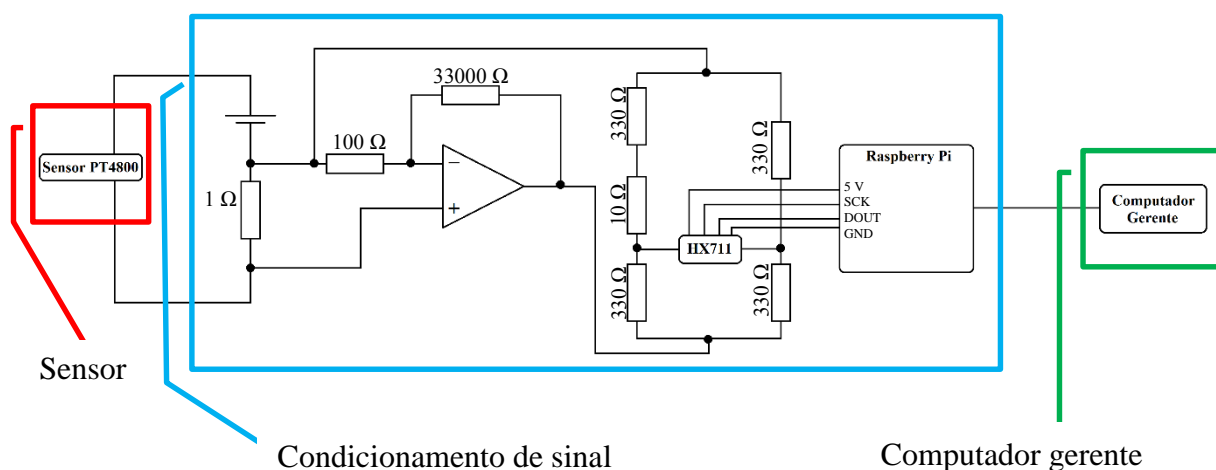
Fonte: <<https://www.adafruit.com/category/105>>

O mesmo pode ler o resultado da conversão A/D do HX711 e utilizar essa informação para calcular a quantidade de combustível no tanque e transmitir o resultado para o sistema de gerenciamento para NTI utilizando o protocolo SNMP, que já vem sendo usado no NTI.

2.3 Arquitetura Proposta

O esquema completo do sistema implementado está apresentado na Figura 20.

Figura 20 - Arquitetura completa

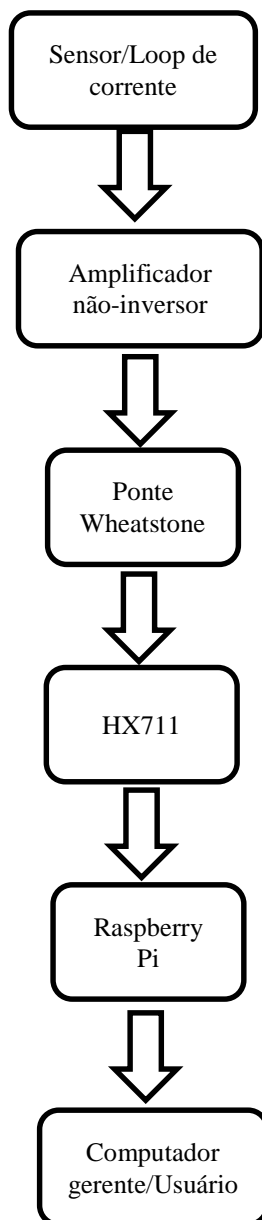


Fonte: Produção do próprio autor.

3 IMPLEMENTAÇÃO E TESTES

Este capítulo demonstra como o sistema de aquisição de dados apresentado no Capítulo 2 é implementado e instalado nas dependências do NTI. O diagrama do sistema está na Figura 21.

Figura 21 - Sistema de aquisição de dados implementado e instalado no NTI



Fonte: Produção do próprio autor.

3.1 Condicionamento do sinal de saída do sensor

O sensor de pressão é instalado no dreno do tanque, como pode ser observado na Figura 22. O sinal de saída é uma corrente de 4 mA a 20 mA para a pressão manométrica de 0 bar a 0,2 bar respectivamente. Todo o sistema, com exceção do Raspberry Pi, é alimentado por uma fonte de 12 V.

Figura 22 - Sensor de pressão instalado no dreno do tanque



Fonte: Produção do próprio autor.

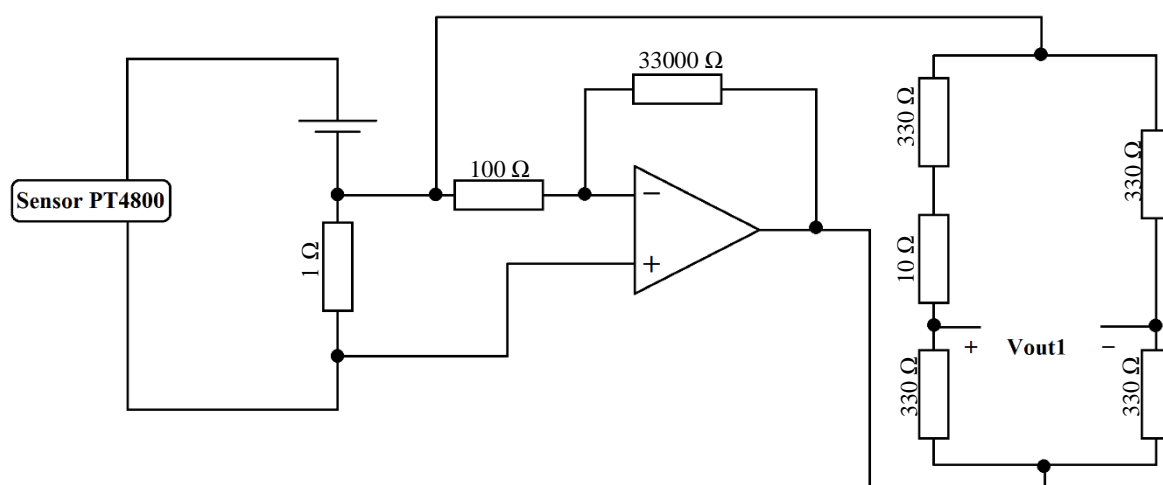
A pressão manométrica medida pelo sensor, segundo o Teorema de Stevin, depende do nível do diesel no tanque, da massa específica do diesel e da aceleração da gravidade local. Neste trabalho, a gravidade é considerada constante e igual a $9,8 \text{ m/s}^2$. Já o valor da massa específica do diesel utilizado neste projeto, é considerado igual a 845 kg/m^3 , que é a média entre o valor máximo e o mínimo da massa específica do diesel metropolitano. Com esses valores, a faixa de pressão medida pelo sensor é de 0 bar a 0,062 bar; sendo assim, o sinal da corrente de saída do sensor é de 4 mA para 0 bar e 8,95 mA para 0,062 bar.

Este sinal da corrente é condicionado sendo convertido em um sinal de tensão e amplificado. Contudo, o circuito de condicionamento do sinal da corrente é projetado considerando que o sensor mede uma faixa de pressão de 0 bar a 0,1 bar, o que equivale a um sinal de saída de 4mA e 12 mA. Essa decisão é tomada para garantir que o condicionamento do sinal seja feito de forma adequada se a pressão devido ao diesel no tanque for superior a 0,062 bar devido a massa específica do diesel ser superior à média utilizada neste projeto.

Sendo assim, para implementar o sistema de aquisição de dados com uma margem de segurança em relação ao valor máximo da pressão medida é considerado que o sensor mede uma faixa de pressão manométrica de 0 bar a 0,1 bar.

O sinal de saída do sensor é a que corrente que circula por um resistor de $1\ \Omega$ e a tensão nos terminais do resistor é utilizada como entrada para o circuito amplificador não-inversor que alimenta a ponte Wheatstone em desequilíbrio. O sensor é alimentado pela fonte de tensão de 12 V. O amplificador operacional utilizado é o TL082 e todos os valores de resistência utilizados estão apresentados na Figura 23.

Figura 23 - Circuito de condicionamento do sinal de saída do sensor

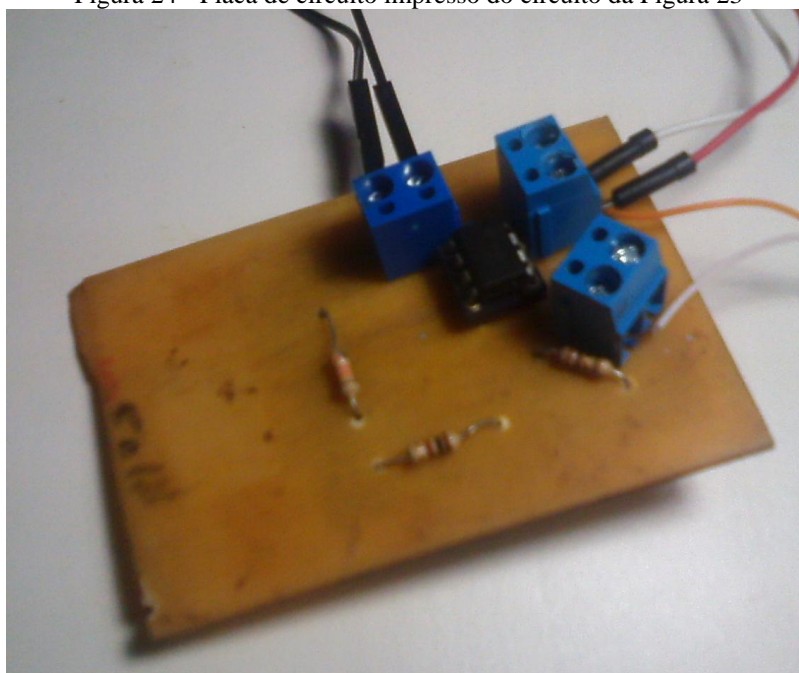


Fonte: Produção do próprio autor.

Sendo assim, quando o sensor mede uma faixa de pressão de 0 bar a 0,1 bar, o sinal de saída do sensor é uma corrente de 4 mA a 12 mA. A tensão entre os terminais do resistor de $1\ \Omega$ devido à circulação dessa corrente é de 4 mV para 4 mA e 12 mV para 12 mA, logo, a tensão nos terminais do resistor de $1\ \Omega$ é proporcional ao sinal de corrente e é utilizado como sinal de entrada do circuito amplificador não-inversor.

A placa de circuito impresso do condicionador da Figura 23 é apresentada na Figura 24. Na placa estão o resistor de $1\ \Omega$, circuito amplificador não-inversor e a ponte de Wheatstone desequilibradas.

Figura 24 - Placa de circuito impresso do circuito da Figura 23



Fonte: Produção do próprio autor.

3.2 Conversor A/D HX711

O HX711 é um conversor analógico digital com dois canais de entrada de tensão diferencial analógica. A faixa de tensão de entrada permitida em cada canal depende do ganho do mesmo e do valor da tensão de alimentação do conversor, sendo que, o canal A pode ser programado para ter o ganho de 128 ou o ganho de 64, enquanto que, o canal B tem o ganho fixo de 32. A alimentação do sensor é feita através do pino Vcc e GND e a tensão pode ser 3,3 V a 5 V. A Equação 23 e a Equação 24 são utilizadas para calcular a tensão máxima e mínima permitida em cada canal, respectivamente.

$$V_{\text{máx}} = 0,5 \times \frac{V_{\text{cc}}}{G} \quad (23)$$

Onde:

$V_{\text{máx}}$ = Tensão máxima permitida no canal em V

V_{cc} = Tensão com que o HX711 pode ser alimentado em V

G = Ganho do canal

$$V_{\text{mín}} = -0,5 \times \frac{V_{\text{cc}}}{G} \quad (24)$$

Onde:

V_{\min} = Tensão máxima permitida no canal em V

V_{cc} = Tensão com que o HX711 pode ser alimentado em V

G = Ganho do canal

Uma vez escolhido o canal e o ganho a ser utilizado o sensor converte a tensão diferencial no canal escolhido em um número de 24 bits representado em complemento de 2, sendo que, o valor máximo da tensão de entrada permitida no canal é representada por 7FFFFFFh e 800000h para o valor mínimo.

Os pinos SCK e DOUT são utilizados para a comunicação com outros dispositivos e são utilizados para recuperar os 24 bits em complemento de 2, para selecionar o canal e selecionar o ganho do canal. Vale observar que o pino SCK é utilizado para entrada do sinal de relógio externo e o pino DOUT para a saída de dados.

Quando um dispositivo desejar recuperar o resultado da conversão A/D do HX711, o sinal SCK deve ser mantido LOW, se SCK for mantido HIGH por mais de 60 μ s o HX711 é desligado e mantido assim até que SCK esteja LOW. Sendo assim, com SCK LOW, DOUT fica HIGH até que o HX711 sinalize com o DOUT em estado LOW, demonstrando assim, que a conversão A/D está pronta.

Uma vez que o HX711 indique que o resultado da conversão está disponível, o dispositivo de leitura deve gerar no pino SCK de 25 a 27 pulsos de relógio positivos. Para cada pulso positivo o sinal de saída DOUT apresenta um dos 24 bits, começando pelo mais significativo até o menos significativo. O 25º pulso de relógio no pino SCK muda o estado de DOUT para HIGH.

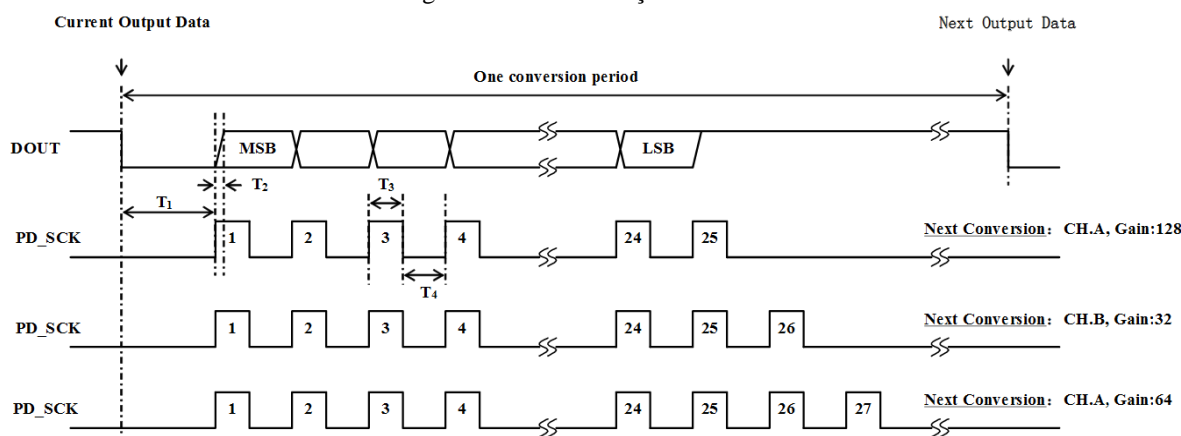
A seleção do canal de entrada e o ganho que será utilizado é controlado pelo número de pulsos de relógio no pino SCK e esses valores estão apresentados na Tabela 1. A Figura 28 ilustra como a recuperação de dados é feita.

Tabela 1 - Seleção do canal e ganho do HX711

Número de Pulsos	Canal selecionado	Ganho
25	A	128
26	B	32
27	A	64

Fonte: Datasheet do HX711 da AVIA Semiconductor (2017).

Figura 25 - Comunicação com HX711



Fonte: Datasheet do HX711 da AVIA Semiconductor (2017).

Vale observar que quando o HX711 muda do estado desligado para o estado ligado, a primeira conversão é feita no canal A com ganho de 128, sendo assim, a primeira leitura deve ser rejeitada se o ganho de interesse no canal A é de 64 ou, se deseja utilizar o canal B.

Neste trabalho o HX711 é alimentado pelo Raspberry Pi com 5 V e utilizado o canal B do conversor, que tem o ganho fixo de 32. Sendo assim, é possível operar uma faixa de tensão de entrada de -80 mV a 80 mV. Logo, são aplicados 26 pulsos de relógio no pino SCK e quando o HX711 é ligado a primeira leitura é descartada por que é do canal A.

3.3 Raspberry Pi

O Raspberry Pi comunica-se com o HX711 utilizando 2 pinos, e obtém o resultado da conversão para calcular o volume de combustível em litros no tanque externo do grupo motor-gerador do NTI. O Raspberry Pi fica na usina geradora do NTI e o computador gerente no prédio do NTI, para se comunicar fisicamente com o computador gerente o Raspberry Pi utiliza um cabo *Ethernet*.

O SNMP é um protocolo padrão para monitoramento e gerenciamento de redes IP e dispositivos em redes IP. O código responsável por responder a mensagem SNMP do computador gerente do NTI, informando a quantidade de combustível no tanque, é escrito em Python utilizando a biblioteca PySNMP.

O computador gerente envia uma mensagem utilizando o protocolo SNMP através do cabo Ethernet para o Raspberry Pi solicitando a quantidade de combustível disponível no tanque.

Uma vez que tenha recebido a mensagem, o Raspberry Pi, recupera o resultado da conversão A/D do HX711, utiliza essa informação para calcular o volume de combustível no tanque e envia uma mensagem SNMP de retorno ao computador gerente através do cabo Ethernet informando a quantidade de combustível no tanque.

4 TESTES E RESULTADOS

Para verificar se o sistema de aquisição de dados desenvolvido pode ser utilizado para monitorar a quantidade de combustível no tanque externo do NTI e disponibilizar essa informação para o sistema de gerenciamento do NTI utilizando o protocolo SNMP, foram realizados dois testes:

- Teste de pressão
- Teste de comunicação

O teste de pressão tem o objetivo de verificar se o sistema de aquisição de dados pode medir a faixa de pressão de 0 bar a 0,062 bar, que equivale a pressão no fundo do tanque quando o mesmo está vazio e cheio. Este teste é necessário por que uma vez que conhecida a pressão no fundo do tanque, é possível calcular a quantidade de combustível disponível no mesmo.

Para tanto, é instalado no fundo de um tubo de PVC de 1 metro de comprimento o sensor de pressão PT4800 e uma torneira, como pode ser visto na Figura 28. O tubo é preenchido com água para que o sistema monitore a pressão medida pelo sensor, simulando a pressão no fundo do tanque de combustível.

Figura 26 - Tubo de PVC



Fonte: Produção do próprio autor.

Já o teste de comunicação é um teste prático, onde o sistema de gerenciamento do NTI envia uma mensagem SNMP para o sistema de aquisição de dados desenvolvido, solicitando a quantidade de combustível disponível. Sendo assim, o sistema calcula a quantidade de combustível no tanque e envia uma mensagem SNMP de resposta ao NTI, contendo essa informação.

Sendo assim, o sensor PT4800 é instalado no dreno do tanque de combustível, como pode ser visto na Figura 22, para que o sistema de aquisição de dados possa medir a pressão no fundo do tanque e utilizar essa informação para calcular a quantidade de combustível no tanque.

4.1 Teste de pressão

Neste teste o sistema de aquisição de dados mede 10 vezes a pressão no fundo do tubo a cada 500 ml de água adicionadas no tubo de PVC. Quando o tubo está completamente cheio, o que ocorre após serem adicionados 3500 ml de água, as 10 medições são refeitas para cada 500 ml de água retiradas do tubo de PVC. Sendo que a água é retirada utilizando a torneira instalada no fundo do tubo.

Os resultados das medições estão apresentados na Tabela 2 e na Tabela 3. A Tabela 4 apresenta as médias das medições da Tabela 2 e da Tabela 3, os desvios-padrão e os desvios-padrão em relação as médias. Sendo que, desvios-padrão percentual são obtidos dividindo os desvios-padrão pelas suas respectivas médias e multiplicando os resultados dessas divisões por 100. O Gráfico 1 apresenta a interpolação das médias apresentadas na Tabela 4.

Tabela 2 - Medições realizadas enquanto se enchia o tubo de PVC

0 ml	500 ml	1000 ml	1500 ml	2000 ml	2500 ml	3000 ml	3500 ml
583124	734906	908529	1069465	1248758	1409844	1549099	1688464
583624	733711	906680	1072193	1252695	1407232	1547327	1687661
585726	731449	906647	1077487	1252067	1405171	1550325	1688691
583532	732785	900423	1075888	1252800	1403629	1550726	1689377
584919	734198	902742	1077155	1250942	1406621	1552570	1686492
583452	735611	902023	1075809	1252514	1408986	1552162	1686283
583313	731466	904042	1067659	1255736	1404988	1551741	1686986
584763	735701	903732	1071831	1250867	1406547	1551589	1685803
584930	739984	906379	1073711	1251072	1406418	1550627	1680635
586340	736072	906333	1069168	1249638	1407922	1550409	1676903

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 3 - Medições realizadas enquanto se esvazia o tubo de PVC

0 ml	500 ml	1000 ml	1500 ml	2000 ml	2500 ml	3000 ml	3500 ml
583767	739317	898193	1042933	1270417	1419492	1545983	1688840
583489	738978	898672	1043497	1269702	1418853	1547824	1689004
584418	739290	901354	1043245	1266706	1423478	1553535	1686847
583174	741730	901424	1042656	1263143	1422346	1547766	1687143
584669	740091	897791	1045882	1263025	1418562	1546174	1688311
585582	738524	899500	1048748	1265448	1419859	1545644	1690593
584489	737943	899754	1044833	1265211	1420814	1545003	1690232
583275	739235	900793	1041169	1269155	1423168	1547008	1690264
585124	739473	901842	1041756	1274658	1423159	1545650	1689967
586289	740223	902100	1043310	1273202	1422840	1543452	1687602

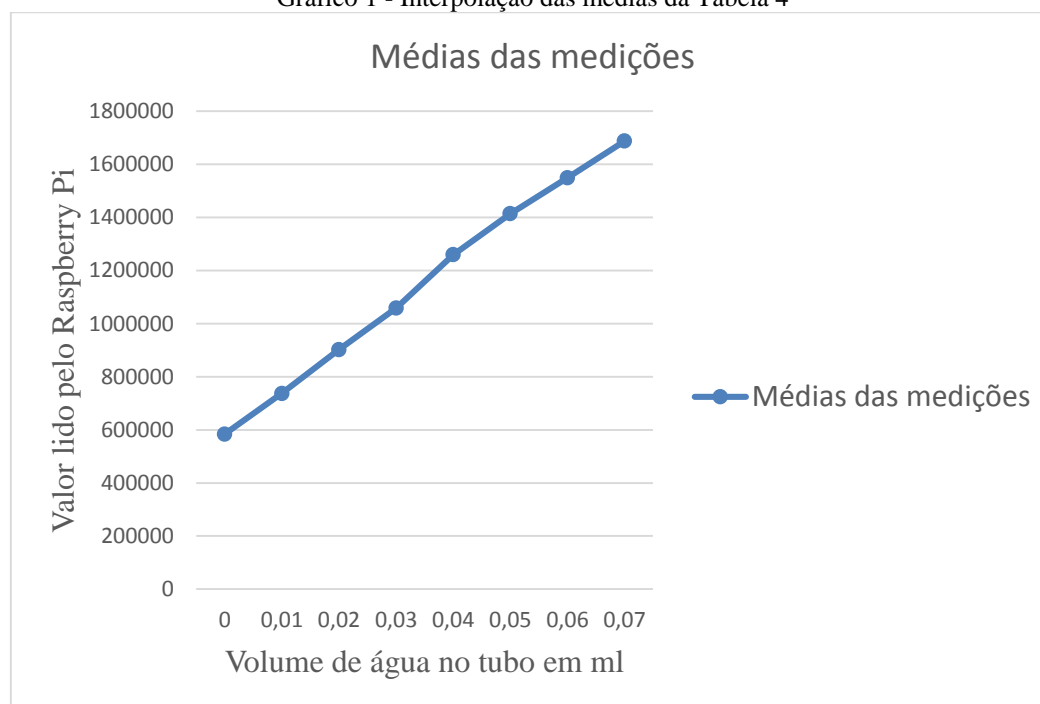
Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 4 - Média, desvio-padrão e desvio-padrão das medições da Tabela 2 e Tabela 3

	0 ml	500 ml	1000 ml	1500 ml	2000 ml	2500 ml	3000 ml	3500 ml
Média	584400	737034	902448	1058420	1259888	1413996	1548731	1687305
Desvio Padrão	1047,2	3135,4	3138,0	15267,1	8936,8	7678,5	2915,1	3294,6
Desvio Padrão %	0,1792	0,4254	0,34772	1,44244	0,70933	0,54303	0,18822	0,19526

Fonte: Produção do próprio autor.

Gráfico 1 - Interpolação das médias da Tabela 4



Fonte: Produção do próprio autor.

Os valores de desvios-padrão percentuais apresentados na Tabela 4 são menores que 1 %, isso indica que medições simultâneas para um mesmo valor de pressão não variam substancialmente, mas sim, oscilam em torno de um valor médio. O Gráfico 1 permite verificar que as médias das medições variam, aproximadamente, de maneira linear em relação a quantidade de água no tubo.

Sendo assim, conclui-se que é possível utilizar o sistema de aquisição de dados desenvolvido para medir a pressão de interesse, uma vez que, as medições feitas variam de maneira, aproximadamente, linear em relação à quantidade de água no tubo de PVC. Como cada variação de 500 ml de água no tubo equivale, aproximadamente, a uma variação de 0,01 bar na pressão medida pelo sensor, a Tabela 5 apresenta as mesmas médias apresentadas na Tabela 4, contudo, em relação a pressão no fundo do tubo ao invés de ser em relação a quantidade de água no tubo.

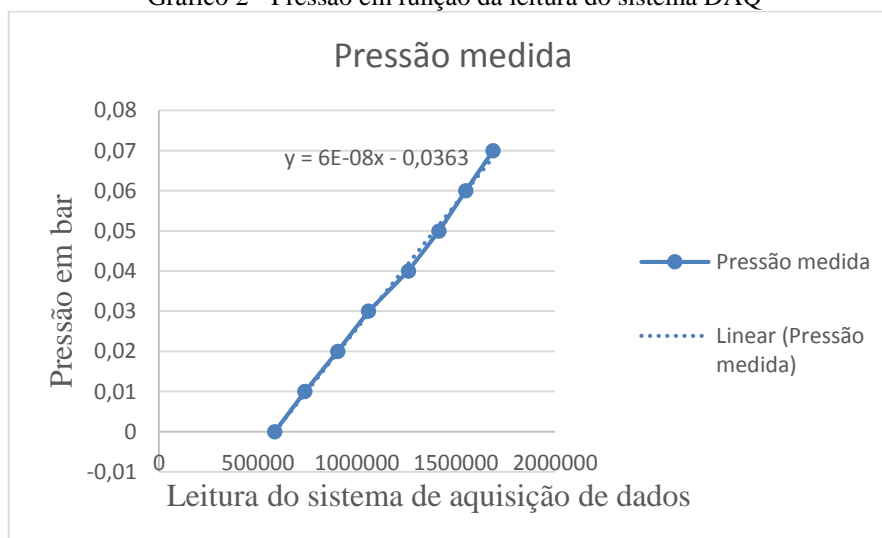
Tabela 5 - Médias das medições em função da pressão

	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
Média	584400	737034,4	902447,7	1058420	1259888	1413996	1548731	1687305

Fonte: Produção do próprio autor.

O Gráfico 2 utiliza os valores da Tabela 5 para apresentar a pressão em função das leituras feitas pelo sistema de aquisição de dados. Também é apresentada a equação da pressão em função da leitura do sistema, sendo que, essa equação é resultado da linearização do Gráfico 2. Logo, a pressão medida pelo sensor é calculada pelo sistema de aquisição de dados utilizando esta equação. O código utilizado neste teste está no Apêndice A.

Gráfico 2 - Pressão em função da leitura do sistema DAQ



Fonte: Produção do próprio autor.

4.2 Teste de comunicação

O teste de comunicação consiste em verificar se o sistema de aquisição de dados, ao receber uma mensagem SNMP do sistema de gerenciamento do NTI solicitando a quantidade de combustível disponível no tanque, é capaz de medir a pressão no fundo do tanque, calcular a quantidade de combustível disponível e enviar essa informação em uma mensagem utilizando o protocolo SNMP para o sistema de gerenciamento do NTI.

Para tanto, o sistema de aquisição de dados é instalado no tanque externo do NTI, sendo que, para medir a pressão, calcular a quantidade de combustível e enviar e receber mensagens SNMP é utilizado o código do Apêndice B.

A Figura 27 apresenta o comando que é utilizado no terminal de comando, do computador gerente, para enviar uma mensagem SNMP solicitando, para o sistema de aquisição de dados, a quantidade de combustível no tanque. Esse comando está indicado em vermelho. Após receber a mensagem SNMP do computador gerente, o sistema de aquisição de dados determina a quantidade de combustível no tanque e envia uma mensagem SNMP de retorno contendo esse informação. Após receber a mensagem SNMP de retorno, do sistema de aquisição de dados, o computador gerente imprime no seu terminal de comando a quantidade de combustível disponível no tanque, segundo o sistema de aquisição de dados. Sendo que o resultado da medição está indicado em azul.

Figura 27 - Teste de comunicação entre o computador gerente e o sistema DAQ

```
root@murilo-HP-Compaq-dc5750-Microtower:/home/pedro# snmpwalk -t 20 -v2c -cpubli  
c 172.20.6.17 1.3.6.1.4.1.35374  
SNMPv2-SMI::enterprises.35374.1.1.1.1.0 = INTEGER: 0  
SNMPv2-SMI::enterprises.35374.1.1.1.2.0 = STRING: "409"
```

Fonte: Produção do próprio autor.

Logo, conforme apresentado na Figura 27, o sistema de aquisição de dados informou o computador gerente que há 409 l de óleo diesel no tanque. O erro % dessa medida em relação ao valor esperado é de 10,69 %. Vale observar que foi realizada uma inspeção no tanque para verificar a quantidade de combustível no mesmo, que é 458 l.

Sendo assim, conclui-se que o sistema pode medir a quantidade de combustível no tanque com uma erro inferior a 15 %. O sistema também pode receber as mensagens SNMP solicitando a quantidade de combustível disponível no tanque e enviar mensagens SNMP de retorno informando a quantidade de combustível no tanque. Logo, o teste prático foi bem sucedido.

5 CONCLUSÃO

Para atender a necessidade do NTI de monitor remotamente a quantidade de combustível no tanque externo do seu grupo motor-gerador, foi desenvolvido um sistema de aquisição de dados. Esse sistema exerce duas funções principais. A primeira é medir a pressão na parte inferior do tanque e utilizar essa informação para calcular a quantidade de combustível no tanque. E a segunda é fornecer essa informação via protocolo SNMP quando solicitado pelo sistema gerente do NTI.

O teste de pressão que foi feito com o tubo de PVC comprova que o sistema é capaz de medir a faixa de pressão de interesse. O teste de comunicação é um teste prático, nele foi comprovado que o sistema de aquisição de dados desenvolvido pode medir a pressão no fundo do tanque e utilizar essa informação para calcular a quantidade de combustível disponível, sempre que solicitado pelo sistema de gerenciamento do NTI. Sendo que, a troca de informação entre o sistema de aquisição de dados e o sistema de gerenciamento foi feita utilizando o protocolo SNMP, via cabo Ethernet.

Sendo assim, conclui-se que o sistema desenvolvido permite o NTI monitorar o tanque de combustível remotamente e se informar sobre a necessidade de reabastecimento. Além disso, o sistema pode ser utilizado para avaliar o consumo de combustível e quantas vezes o grupo motor-gerador entrou em funcionamento, ou até mesmo se o grupo motor-gerador entrou em operação indevidamente. O sistema de aquisição de dados desenvolvido também pode ser utilizado para monitorar outros sensores, como um sensor de temperatura, que possam ser instalados no local.

Vale observar, que não foi possível neste trabalho utilizar sensores de baixo custo, como o caso do sensor de pressão automotivo 7715 da 3-RHO, já que os testes preliminares realizados comprovaram que esse tipo de sensor não é capaz de medir a faixa de pressão de interesse. Logo foi necessário utilizar um sensor industrial, no caso o PT4800, para realização deste projeto. O custo do sensor PT4800 e os demais elementos deste trabalho estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Tabela de custos

Dispositivo	Custo
Sensor PT4800	R\$ 600,00
Raspberry Pi	R\$ 242,00
HX711	R\$ 11,82
Fonte 12 V	R\$ 15,00
Fonte 5 V	R\$ 9,90
Placa Fenolite	R\$ 8,00
TL082	R\$ 2,50
Resistores	R\$ 1,50

Fonte: Produção do próprio autor.

Vale observar que o Raspberry Pi e o HX711 já estavam disponíveis no NTI, contudo, o que motivou a utilização desses dispositivos no projeto foi o baixo custo e alto poder de processamento de dados do Raspberry Pi, e o baixo custo e alta resolução do conversor HX711, que é de 24 bits. Sendo assim, ambos são dispositivos que atendem as necessidades técnicas do projeto e podem ser facilmente substituídos em caso de defeito. Os demais componentes, com exceção do sensor, foram utilizados para confeccionar a placa de condicionamento e alimentar o sistema.

REFERÊNCIAS

NÚCLEO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO. Universidade Federal do Espírito SANTO. Vitória: 2017. Disponível em: <<http://www.ufes.br/n%C3%Bacleo-de-tecnologia-da-informa%C3%A7%C3%A3o-nti>>. Acesso em 24 fev. 2017.

BAVARESCO, D., LIMA, M. P. de, ZANETTI, R. Determinação do volume do cilindro horizontal - solução pertinente para um trabalhador com formação básica. In: 1º ENCONTRO NACIONAL PIBID - MATEMÁTICA, 2012, Rio Grande do Sul: Disponível em: <http://w3.ufsm.br/ceem/eiemat/Anais/arquivos/CC/CC_Lima_Marcos.pdf>. Acesso em 24 fev. 2017.

CASSIOLATO, César. Medição de nível,[São Paulo]: 2012. Disponível em: <<http://www.smar.com/newsletter/marketing/index39.html>>. Acesso em 24 fev. 2017.

MARINE SERVICE, Catálogo de produtos. Disponível em: <http://www.marine.com.br/tem/Batelco/medidores_de_nivel.htm>. Acesso em 24 fev. 2017.

NATIONAL INSTRUMENTS. Catálogo de produtos e serviços. Disponível em: <<http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/>>. Acesso em 24 fev. 2017.

ADD THERM, Catálogo de produtos. Disponível em: <<http://www.addtherm.com.br/>>. Acesso em 24 fev. 2017.

PAONESSA, S., MCDUFFE, B. Back to basics: the fundamentals of 4-20 mA current loops. Precision Digital Corporation. Disponível em: <<https://www.predig.com/indicatorpage/back-basics-fundamentals-4-20-ma-current-loops>>. Acesso em: 24 fev. 2017.

3-RHO, Catálogo de produtos. Disponível em: <http://www.3rho.com.br/pt_br/produtos_lista.php?page=2&segCod=17>. Acesso em: 24 fev. 2017.

VDO, Catálogo de produtos, 2014. Disponível em: <http://www.vdo.com.br/media/188321/flc_catalogo_vdo_2014_pt.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2017.

PROVIDER CONTROLS, Catálogo de produtos. Disponível em: <<http://www.providercontrols.com.br/produto/transmissores-de-pressao/transmissor-de-pressao-pt4800>>. Acesso em: 24 fev. 2017.

AVIA SEMICONDUCTOR, Catálogo de serviços. Disponível em:

<https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/hx711_english.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2017.

FIALHO, Arivelto Bustamanta. **Instrumentação industrial : conceitos, aplicações e análises**. São Paulo : Érica, 2004.

BEGA, Egídio Alberto (Org.).**Instrumentação industrial**. Rio de Janeiro: Interciência: Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, 2006.

BALBINOT, Alexandre et al. **Instrumentação e fundamentos de medidas**. Rio de Janeiro : LTC, 2007.

APÊNDICE A

Código utilizado pelo Raspberry Pi para recuperar o resultado da conversão A/D do HX711, sendo que o HX711 converte o sinal analógico de tensão em um sinal digital, que representa um número de 24 bits em complemento de 2. Esse número é diretamente proporcional ao sinal de saída do sensor.

```
#include <wiringPi.h>
#include <stdio.h>

int main (void)
{
int sck = 10;
int dout = 11;

int n_bit = 0;
int dados = 0;

wiringPiSetup();
pinMode(sck,OUTPUT);
pinMode(dout,INPUT);
pullUpDnControl(dout,PUD_DOWN);

// primeira leitura é ignorada
while (n_bit<24)
{
    digitalWrite(sck,HIGH);
    delayMicroseconds(3);

    digitalWrite(sck,LOW);
    delayMicroseconds(3);

    n_bit=n_bit+1;
}

digitalWrite(sck,HIGH);
delayMicroseconds(3);

digitalWrite(sck,LOW);
delayMicroseconds(3);

digitalWrite(sck,HIGH);
delayMicroseconds(3);

digitalWrite(sck,LOW);
delayMicroseconds(3);
```

```

digitalWrite(sck,LOW);
delayMicroseconds(2);

int x = 0;
while (x<=3){
    if (digitalRead(dout)==LOW)
    {
        x=x+1;
    }
    else
    {
        x=0;
    }
}

n_bit = 0;
dados = 0;
while (n_bit<24){

digitalWrite(sck,HIGH);
delayMicroseconds(2);

dados = digitalRead(dout)+(dados<<1);
delayMicroseconds(2);

digitalWrite(sck,LOW);
delayMicroseconds(2);

n_bit=n_bit+1;

}

digitalWrite(sck,HIGH);
delayMicroseconds(2);

digitalWrite(sck,LOW);
delayMicroseconds(2);

digitalWrite(sck,HIGH);
delayMicroseconds(2);

digitalWrite(sck,LOW);
delayMicroseconds(2);

dados=dados<<8;
dados=dados>>8;
dados=(dados*6/100000000)-0.0363)
printf("%f00000000000000000000000000000000 \n",dados);
}

```

APÊNDICE B

Código que é utilizado Raspberry Pi para permitir a comunicação do sistema de aquisição de dados com o sistema de gerenciamento do NTI. O código executa o código do Apêndice A e guarda o resultado em um arquivo .txt, o valor armazenado nesse arquivo é utilizado para calcular a quantidade de combustível. Uma vez calculado, o código retorna o resultado para o NTI via protocolo SNMP.

```
import RPi.GPIO as GPIO
import math
import subprocess as subprocess
import gl

class monitor:
    def __init__(self):
        x=1
    def probe(self):
        subprocess.call("./Teste_3>Dados.txt",shell=True)
        arquivo=open("Dados.txt","r")
        gl.a=arquivo.readlines()[0]
        gl.a=float(gl.a[0:20]);
        arquivo.close();
        # gl.a eh o pressão medida pelo sensor
        # como Pressao=massa_especifica*gravidade*nível
        # nível = Pressão/(massa_especifica*gravidade)
        # 12.11166 = 1/(massa_especifica*gravidade)
        h=gl.a*12.11166
        A=34*34*(math.asin((h-34)/34)+math.pi/2)+(h-34)*math.sqrt(34*34-(h-34)**2)
        V=133*A/1000
        return int(V) #retorna o volume
```