



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ  
Faculdade de Engenharia**

**FILIPPE BORTOLIN**

**Projeto de um sistema de aquisição de dados para a planta termelétrica do  
laboratório de máquinas térmicas do DEN/FEG/UNESP**

Guaratinguetá

2013



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ  
Faculdade de Engenharia**

**FILIPPE BORTOLIN**

**Projeto de um sistema de aquisição de dados para a planta termelétrica do  
laboratório de máquinas térmicas do DEN/FEG/UNESP**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. José Alexandre Matelli

Guaratinguetá

2013

B739p Bortolin, Filipe  
Projeto de um sistema de aquisição de dados para a planta termelétrica  
do laboratório de máquinas térmicas do DEN/FEG/UNESP / Filipe  
Bortolin – Guaratinguetá : [s.n], 2013.  
53 f : il.  
Bibliografia: f. 53

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade  
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013.

Orientador: Prof. Dr. José Alexandre Matelli

1. Máquinas térmicas - Laboratórios I. Título

CDU 621.1

**unesp** UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

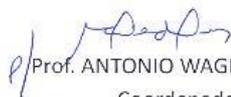
**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

**Projeto de um sistema de aquisição de dados para a planta termelétrica do  
laboratório de máquinas térmicas do DEN/FEG/UNESP**

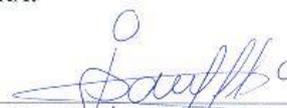
**FILIPPE BORTOLIN**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE DO REQUISITO  
PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE “GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA MECÂNICA

  
Prof. ANTONIO WAGNER FORTI  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. JOSÉ ALEXANDRE MATELLI  
Orientador/UNESP-FEG

  
Prof. Dr. DANIEL JULIÊN B. DA S. SAMPAIO  
UNESP-FEG

  
Prof. Dr. ELIANA VIEIRA CANETTI  
UNESP-FEG

Dezembro de 2013

À minha família, amigos e professores pela confiança, carinho,  
amizade, incentivo e preocupação que tem por mim.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida, e que guiou meus passos durante todos os anos da minha vida.

Aos meus pais que me apoiaram durante toda a minha trajetória e que considero meus primeiros professores, pois me ensinaram as coisas mais importantes da vida, que até hoje são a base de tudo que conquistei.

Ao meu orientador *Prof. Dr. José Alexandre Matelli*, o qual confiou em mim para a realização deste trabalho, e que sempre se mostrou disposto a me auxiliar através de suas preciosas orientações no desenvolvimento e conclusão do mesmo;

A todos da *República Só na Manteiga*, que me acolheram durante esse último ano, os quais agradeço por toda aprendizagem e companheirismo que me proporcionaram durante esse período, agradeço por ter feito parte dessa família maravilhosa que aprendi a amar.

Aos amigos de Rio Claro que mesmo distantes sempre se fizeram presentes me apoiando e dando força para chegar até aqui.

Aos todos os meus amigos de Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, que sempre estiveram ao meu lado nos últimos 6 anos.

"Lute com determinação, abrace a vida com paixão, perca com classe e vença com ousadia, porque o mundo pertence a quem se atreve e a vida é muito para ser insignificante."

**Charles Chaplin**

BORTOLIN, F. **Projeto de um sistema de aquisição de dados para a planta termelétrica do laboratório de máquinas térmicas do DEN/FEG/UNESP**. 2013. 53p. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

## **RESUMO**

Com o objetivo de proporcionar aos alunos o contato prático com o funcionamento de uma planta termelétrica, foi restaurada a planta do laboratório de vapor da faculdade de engenharia de Guaratinguetá, esse trabalho foi realizado para que especificar os equipamentos necessários para que essa planta de vapor tivesse seus processos instrumentados, possibilitando uma maior precisão das medidas realizadas nos ensaios realizados e também o armazenamento de suas informações. A instrumentação da planta visa a aproximação das práticas realizadas no laboratório com as situações reais encontradas em plantas de vapor industriais, colaborando assim com a formação mais completa dos alunos e garantindo a segurança das operações realizadas no laboratório.

**PALAVRAS-CHAVES:** Instrumentação, Termelétrica, Sistema de aquisição de dados.

BORTOLIN, F. **Project for a data acquisition system for thermal power plant thermal machines DEN / FEG / UNESP.** 2013. 53p. Graduate Work (Graduate in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

### **ABSTRACT**

With the purpose of provide students with the practical contact with the operation of a thermoelectric plant, the steam plant Laboratory College of Engineering Guaratinguetá was restored, this work was undertaken so that the necessary equipment was specified for this steam plant had their instrumented processes, enabling greater precision of the measurements performed in the tests and also storing your information. The instrumentation of the plant is to approximate the practices carried out in the laboratory with real situations encountered in industrial steam plant, thus collaborating with the most comprehensive training of students and ensuring the safety of operations performed in the laboratory.

**KEYWORDS:** Instrumentation, Thermoelectric, Data acquisition system

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo termodinâmico de Rankine .....	17
Figura 2 - Dispositivos do sistema DAQ.....	18
Figura 3 - Ilustração das formas de energia medidas por um sensor .....	19
Figura 4 - Saídas binária e analógica (tensão ou corrente).....	20
Figura 5 - Detalhes construtivos célula de carga.....	22
Figura 6 - Representação de um sensor piezelétrico .....	23
Figura 7 - Representação de um sensor de tubo de Bourdon .....	23
Figura 8 - Representação de um sensor Óptico .....	24
Figura 9 - Exemplo de termopar.....	25
Figura 10 - Exemplo de RTD .....	26
Figura 11 - Exemplo de termistor.....	27
Figura 12 - Caldeira DBS-020 NG Série E - Gas Fired Steam Boiler (6E - 60E) instalada no DEN – Departamento de Energia – UNESP Campus de Guaratinguetá. ....	35
Figura 13 - Turbina a vapor C/D 3000 10 KW Educational Steam Turbine Dynamometer instalada no DEN – Departamento de Energia – UNESP Campus de Guaratinguetá. ....	36
Figura 14 - Bomba de vácuo instalada no DEN – Departamento de Energia – UNESP Campus de Guaratinguetá.....	39
Figura 15 - Torre de resfriamento instalada no DEN – Departamento de Energia – UNESP Campus de Guaratinguetá.....	40
Figura 16 - cDAQ - 9174.....	44
Figura 17 - NI 9213 .....	45
Figura 18 - NI 9229 .....	45

Figura 19 - Transmissor de nível magnético - série ING Contech .....	47
Figura 20 - Funcionamento do transmissor de nível magnético.....	47
Figura 21 - Transmissor de pressão (série MBS 3000 - Contech).....	48
Figura 22 - Medidor de vazão tipo turbina - Incontrol .....	48
Figura 23 - NI 9203 .....	49
Figura 24 - Distribuição dos instrumentos de medição no laboratório do Departamento de Energia DEN-UNESP – Campus de Guaratinguetá. ....	50
Figura 25 - Configuração do sistema de aquisição de dados DAQ.....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações técnicas da caldeira DBS-020 NG série E .....	35
Tabela 2 - Informações técnicas da turbina Greenbat C/D 3000. ....	37
Tabela 3 - Informações técnicas do condensador Greenbat. ....	38
Tabela 4 - Parâmetro do ensaio.....	41
Tabela 5 - Comparação de dispositivos e sistemas.....	43
Tabela 6 - Faixas de utilização de termopares. ....	46

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1 OBJETIVO .....	14
1.2 ESTRUTURA DA TESE.....	15
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRAFICA .....</b>	<b>16</b>
2.1 CICLO TERMODINÂMICO .....	16
2.2 SISTEMA DAQ.....	18
2.3 SENSORES .....	18
<b>2.3.1 Sensor de Nível .....</b>	<b>20</b>
2.3.1.1 Fluturador .....	20
2.3.1.2 Capacitivo .....	21
2.3.1.3 Laser.....	21
2.3.1.4 Radar.....	21
<b>2.3.2 Sensor de pressão .....</b>	<b>21</b>
2.3.2.1 Célula de carga.....	22
2.3.2.2 Piezelétrico .....	22
2.3.2.3 Tubos de Bourdon.....	23
2.3.2.4 Óptico .....	24
2.3.2.5 Capacitivo .....	24
<b>2.3.3 Sensor de temperatura.....</b>	<b>25</b>
2.3.3.1 Termopar .....	25

2.3.3.2 RTD.....	26
2.3.3.3 Termistor.....	26
2.4 CONDICIONAMENTO DE SINAIS .....	27
<b>2.4.1 Amplificação.....</b>	<b>27</b>
<b>2.4.2 Isolamento .....</b>	<b>28</b>
<b>2.4.3 Filtragem .....</b>	<b>28</b>
<b>2.4.4 Excitação.....</b>	<b>28</b>
<b>2.4.5 Precisão e Resolução.....</b>	<b>28</b>
<b>2.4.6 CJC .....</b>	<b>29</b>
2.5 <i>HARDWARES</i> .....	29
<b>2.5.1 Circuitos para condicionamento.....</b>	<b>29</b>
<b>2.5.2 Conversos analógico-digital (ADC) .....</b>	<b>30</b>
<b>2.5.3 Barramento do computador .....</b>	<b>30</b>
2.6 COMPUTADOR .....	30
<b>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>32</b>
<b>CAPÍTULO 4 - ANÁLISE E RESULTADOS .....</b>	<b>34</b>
4.1 EQUIPAMENTOS DO LABORATÓRIO .....	34
4.1.1 Caldeira.....	34
4.1.2 Turbina a vapor.....	36
4.1.3 Sistema de resfriamento (condensador/bomba/torre de resfriamento).....	37
4.2 SENSORES E <i>HARDWARES</i> .....	40
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO .....</b>	<b>52</b>

- REFERÊNCIAS.....	53
--------------------	----

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Atualmente a faculdade de engenharia de Guaratinguetá não dispõe de nenhum laboratório de geração de vapor, sendo essa uma demanda constantemente levantada em discussão por parte de professores e alunos, os quais entendem que seria de grande importância para a formação de futuros engenheiros o contato prático com os processos encontrados em empresas que dispõem dessas instalações e também para exemplificação da teoria ministrada pelos docentes durante o curso.

Sendo assim, durante o ano de 2013, um dos objetivos do departamento de energia da FEG foi a recuperação de uma planta de geração de vapor instalada no laboratório do departamento, o qual se encontrava fora de operação. Com a proposta de aproximar o laboratório da realidade e assegurar uma confiabilidade maior nos experimentos, surgiu a necessidade de buscar equipamentos para a automatização de seu sistema de aquisição e armazenamento de dados, os quais são atualmente analógicos, o que dificulta a confiabilidade nas medições e o armazenamento de dados, impossibilitando também um banco de dados do sistema, o que colaboraria para futuras pesquisas, melhorias e manutenção da planta instalada.

Com a utilização de sensores, *hardwares* e *softwares*, a prática de experimentos se torna mais próxima da realidade e possibilita o estudo de valores mais exatos, propiciando estudos mais confiáveis. Vale ressaltar que o controle mais preciso do processo através de sensores e *softwares* aumenta a eficiência do processo, proporcionando a utilização mais econômica dos recursos que alimentam a planta, gerando maior economia na realização dos experimentos.

É importante citar que com a utilização de instrumentos adequados para o processo, temos como consequência o aumento na segurança do processo, evitando possíveis acidentes durante as práticas realizadas na planta, garantindo assim a integridade dos equipamentos e dos indivíduos que estejam realizando o experimento.

### 1.1 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo especificar os sensores e *hardwares* mais adequados para a aquisição e armazenamento de dados da planta termelétrica instalada no laboratório do departamento de energia da faculdade de engenharia de Guaratinguetá.

## 1.2 - ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo um apresenta o objetivo, a justificativa para a realização desse trabalho e a estrutura da tese.

O segundo capítulo apresenta os conceitos teóricos do ciclo termodinâmico do processo da planta instalada, os conceitos teóricos sobre o sistema de aquisição de dados, assim como os componentes que formam o sistema como sensores de nível, pressão e temperatura e também a tecnologia de *hardwares* disponíveis e compatíveis com o *software* LabView.

No capítulo três é mostrada a explicação detalhada de todas as etapas que foram desenvolvidas durante o planejamento e execução do trabalho.

No quarto capítulo são realizadas as análises dos recursos que a faculdade já possui para a instrumentação da planta termelétrica instalada e das melhores opções para cada um dos componentes necessários para a instrumentação completa do laboratório para a prática de ensaios didáticos.

O quinto capítulo contém a conclusão do trabalho, onde o trabalho tem seu final avaliado.

No sexto e último capítulo são abordadas as referências bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho.

## CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRAFICA

### 2.1 - CICLO TERMODINÂMICO

Os ciclos de potência são ciclos termodinâmicos nos quais sistemas ou dispositivos são utilizados para produzir potência, geralmente chamados de motores ou máquinas.

A planta termelétrica instalada no laboratório do departamento de energia DEN – UNESP Campus Guaratinguetá opera segundo os princípios do ciclo de potência, uma vez que seu processo tem o objetivo de produzir potência a partir do vapor.

Os ciclos termodinâmicos podem ser categorizados como ciclos a gás ou ciclos a vapor, dependendo da fase do fluido de trabalho. Nos ciclos a gás, o fluido permanece na fase gasosa em todo o ciclo, enquanto nos ciclos a vapor, o fluido existe na fase vapor durante uma parte do ciclo e na fase líquida durante a outra.

Os ciclos podem ser classificados ainda de outra forma: ciclos fechados e abertos. Nos ciclos fechados, o fluido de trabalho volta ao estado inicial no final do ciclo e circula novamente, nos ciclos abertos o fluido é renovado ao final de cada ciclo.

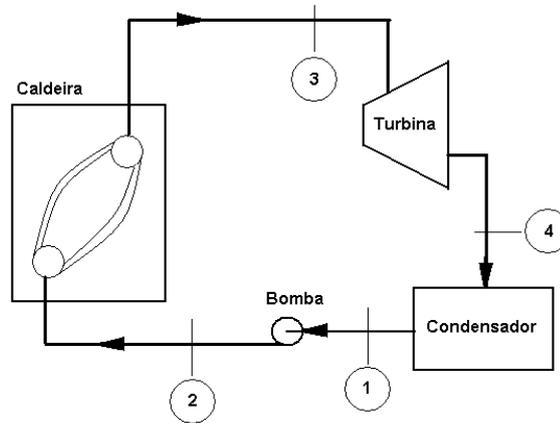
No ciclo de potência a vapor, o fluido de trabalho é alternadamente vaporizado e condensado. O vapor d'água é o fluido mais comum devido às suas características desejáveis, como custo baixo, disponibilidade e alta entalpia de formação.

A planta termelétrica instalada tem seu funcionamento baseado no ciclo térmico de Rankine simples, o qual tem seu processo representado na figura 1.

O ciclo de Rankine pode ser definido nas seguintes etapas:

- 1-2: Na bomba: Processo de bombeamento adiabático reversível.
- 2-3: Na caldeira: Transferência de calor a pressão constante.
- 3-4: Na turbina: Expansão adiabática reversível.
- 4-1: No condensador: Transferência de calor a pressão constante (INCROPERA et al,2008).

Figura 1 - Ciclo termodinâmico de Rankine



Fonte: Elaborada pelo autor

Água entra na bomba no estado 1 como líquido saturado e é comprimida de maneira isentrópica até a pressão de operação da caldeira. A temperatura da água aumenta um pouco durante esse processo de compressão isentrópica, devido a uma ligeira diminuição do volume específico da água.

A água entra na caldeira como um líquido comprimido no estado 2 e sai como vapor superaquecido no estado 3. A caldeira é basicamente um grande trocador de calor, no qual o calor originário dos gases de combustão é transferido para a água essencialmente à pressão constante. A caldeira, incluindo a região onde o vapor é superaquecido (superaquecedor), também é chamada de gerador de vapor.

O vapor d'água superaquecido no estado 3 entra na turbina, na qual se expande de forma isoentrópica e produz trabalho, girando o eixo conectado a um gerador elétrico. A pressão e a temperatura do vapor caem durante esse processo até os valores do estado 4, no qual o vapor entra no condensador. Nesse estado, o vapor em geral é uma mistura de líquido e vapor saturados com um título elevado. O vapor é condensado a pressão constante no condensador, que é basicamente um grande trocador de calor, rejeitando calor para um meio de resfriamento. A água deixa o condensador como líquido saturado e entra na bomba completando assim o ciclo.

## 2.2 - SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS (DAQ)

A aquisição de dados (DAQ) é o processo de medição de um fenômeno elétrico ou físico, como tensão, corrente, temperatura, pressão ou som, com o uso de um computador. Um sistema DAQ é formado por sensores, *hardware* de aquisição e medição de dados e um computador com *software* programável. Em comparação com os sistemas tradicionais de medição, os sistemas DAQ baseados em PC exploram a capacidade de processamento, produtividade, sistemas de visualização e recursos de conectividades dos computadores padrão da indústria. Com isso, temos uma solução de medição mais poderosa, flexível e de melhor custo-benefício (NATIONAL INSTRUMENTS, 2013).

O sistema DAQ de aquisição de dados pode ser dividido em três principais grupos de equipamentos, sendo eles o sensor, o dispositivo DAQ e o computador. A figura 2 é uma representação dos respectivos equipamentos e sua sequencia para a realização da tarefa de coleta da informação física do processo, condicionamento de sinal e manipulação computacional.

Figura 2 - Dispositivos do sistema de aquisição de dados

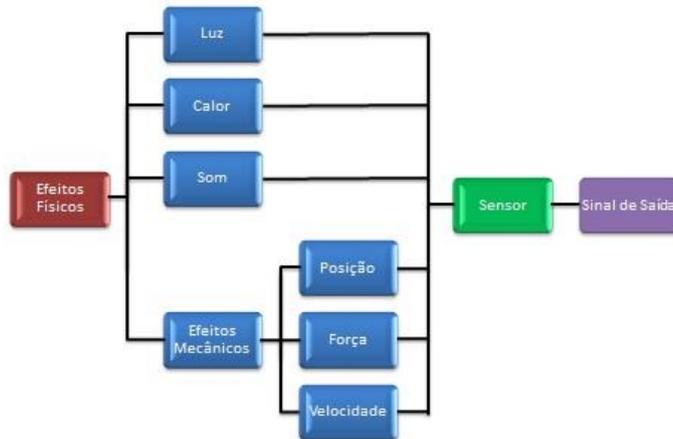


Fonte: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2013)

## 2.3 SENSORES

Sensor é o termo empregado para designar dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente que pode ser luminosa, térmica, cinética, relacionando informações sobre uma grandeza que precisa ser medida, como: temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição, entre outras (THOMAZINI, 2008).

Figura 3 - Ilustração das formas de energia medidas por um sensor

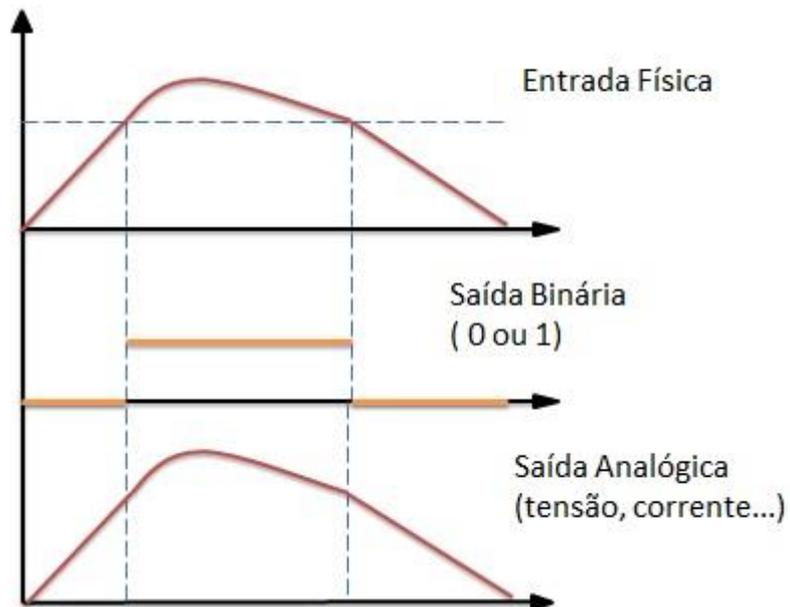


Fonte: (THOMAZINI, 2008)

Os sensores podem ser classificados como analógicos ou digitais, que corresponde ao tipo de sinal de saída que o sensor possui.

Os sensores analógicos correspondem aos sensores que podem assumir qualquer valor no sinal de saída ao longo de um determinado tempo, desde que esse sinal se encontre dentro da faixa de operação determinada do sensor. Os sensores digitais por sua vez, podem assumir apenas dois valores em seu sinal de saída, interpretados como zero ou um, grandezas físicas naturalmente não assumem esses valores, mas seus valores são convertidos através de circuitos eletrônicos.

Figura 4 - Saídas binária e analógica (tensão ou corrente)



Fonte: Elaborada pelo autor

### 2.3.1 Sensor de nível

Utilizados no controle de líquidos ou grãos, contidos em reservatórios. Podem tanto detectar nível fixo ou realizar medição contínua.

Alguns dos sensores de níveis mais comuns encontrados em aplicações industriais são do tipo flutuador, eletrodo metálico, capacitivo, laser e radar.

#### 2.3.1.1 Flutuador

O flutuador acompanha o nível do fluido no interior recipiente em que se encontra, esse movimento de subida ou descida é então traduzido para uma ação de controle, podendo ser feita através da abertura/fechamento de um contato. Em casos de reservatórios pressurizados é possível a utilização de acoplamentos magnéticos que possibilitam a medição do nível do reservatório. Em tanques abertos utilizam-se boias, a qual fica conectada no exterior do reservatório, indicando o nível interno do fluido.

### 2.3.1.2 Capacitivo

Esse tipo de sensor pode ser linear ou ON-OFF. A variação do nível do material entre a sonda de medição e a parede do reservatório causa uma mudança da capacitância. Uma barra condutora isolada é mergulhada no recipiente, gerando assim uma capacitância entre a barra condutora e o recipiente, a qual sofre variação juntamente com o nível do fluido no reservatório.

### 2.3.1.3 Laser

Coloca-se um emissor laser em um dos lados do recipiente de modo que o raio atinja a superfície do líquido em ângulo, sendo então refletivo para um detector. Variações na posição do nível modificam a direção do raio refletido e alteram o ponto que atinge o sensor, correspondendo a nova posição a um sinal de nível, obtido pelos circuitos eletrônicos de detecção. É um medidor de nível contínuo sem contato (THOMAZINI, 2008).

### 2.3.1.4 Radar

Dispositivos do tipo radar utilizam propriedades físicas das propagações das ondas, gerando sinais de radar polarizados, sendo transmitidos em uma direção e recebidos em outra. Em função disso, sempre que o sinal emitido colide com algum objeto, o instrumento introduz uma polarização de 90° no sinal. Assim o instrumento só receberá ecos que foram refletidos uma única vez, ignorando as colisões indiretas e reduzindo sobremaneira as interferências ocasionadas pelos ruídos (THOMAZINI, 2008).

## 2.3.2 - Sensor de pressão

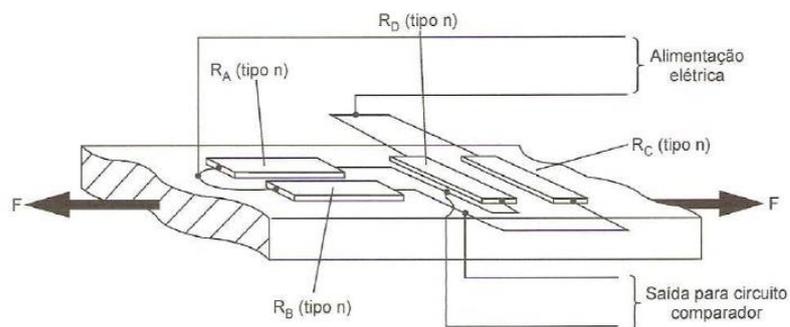
Os sensores de pressão mais utilizados em aplicações industriais são:

- Célula de carga;
- Cristal piezelétrico;
- Tubos de Bourdon;
- Sensores eletrônicos integrados;
- Capacitivos.

### 2.3.2.1 - Célula de carga

Tem como base de funcionamento a variação da resistência ôhmica de um extensômetro (*strain-gage*), quando deformado. Esse sensor mede a deformação da peça a ser medida pela sua própria deformação e converte para uma variação de resistência ôhmica. Seu detalhe construtivo é mostrado na figura 5.

Figura 5 - Detalhes construtivos célula de carga



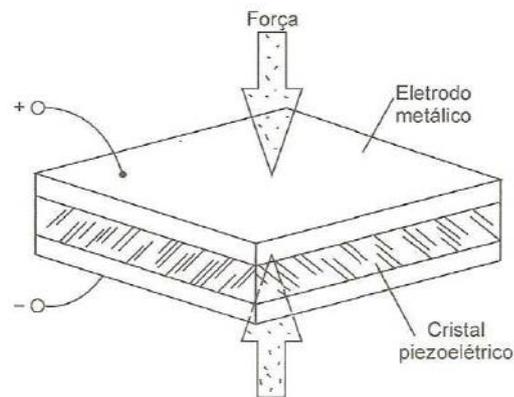
Fonte: (THOMAZINI, 2008)

### 2.3.2.2 - Piezelétrico

Esses transdutores baseiam-se na propriedade piezelétrica do cristal de quartzo que, quando deformado elasticamente, gera um potencial elétrico em seus terminais por meio de certo plano cristalográfico (THOMAZINI, 2008).

O cristal piezelétrico é um cristal que quando submetido a uma determinada pressão, gera um campo elétrico transversal que pode ser registrado como tensão elétrica.

Figura 6 - Representação de um sensor piezelétrico

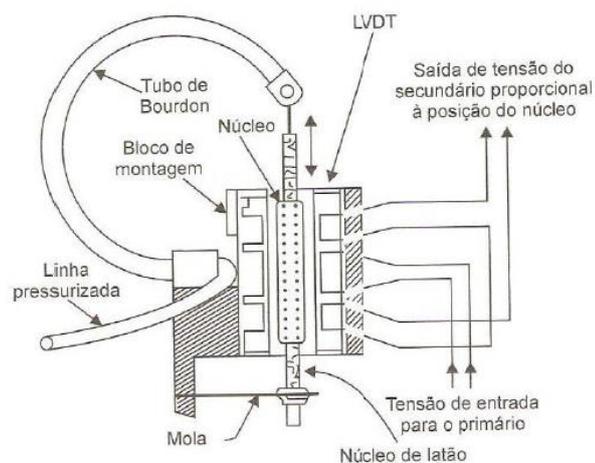


Fonte: (THOMAZINI, 2008)

### 2.3.2.3- Tubos de Bourdon

O tubo de Bourdon consiste em traduzir a pressão do fluido em um deslocamento a fim de fornecer um sinal elétrico proporcional à pressão. É formado por um tubo metálico de seção transversal elíptica, tendo uma das extremidades em contato com a fonte de pressão (THOMAZINI, 2008).

Figura 7 - Representação de um sensor de tubo de Bourdon

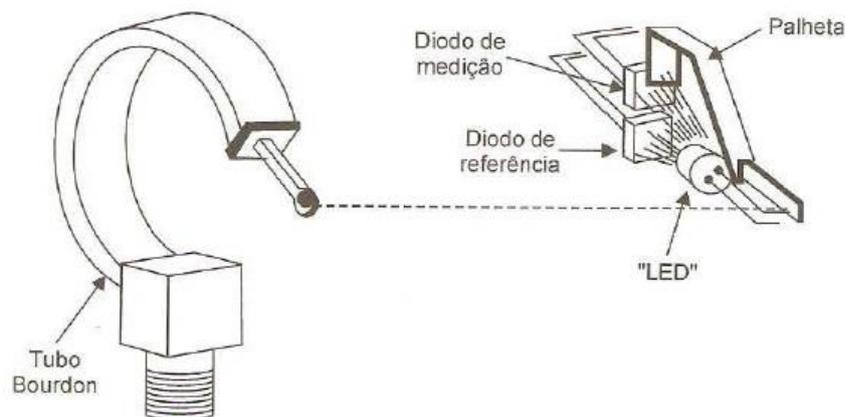


Fonte: (THOMAZINI, 2008)

### 2.3.2.4 – Óptico

É montado num manômetro de processo com elemento elástico estável e movimento de fácil fabricação. Segundo este princípio, a aplicação da pressão no tubo de Bourdon desloca uma palheta, que interrompe proporcionalmente a incidência de um feixe de luz infravermelha emitido por um LED, sobre o primeiro de um "par casado" de fotodiodos (figura 8). O segundo fotodiodo recebe sempre uma mesma quantidade de luz desse feixe, gerando um sinal utilizado para compensar os efeitos produzidos pelo envelhecimento de componentes e variação de temperatura (THOMAZINI, 2008).

Figura 8 - Representação de um sensor Óptico



Fonte: (THOMAZINI, 2008)

### 2.3.2.5 - Capacitivo

É composto por uma base e um diafragma. Submetendo o sensor a certa pressão, o diafragma se contrai e aproxima-se da base, variando a distância entre ambos e, conseqüentemente, a capacitância, ou seja, os dois funcionam como as armaduras de um capacitor variável. A partir dessa variação, é possível medir a pressão submetida quando estabelecido um referencial (THOMAZINI, 2008)

### 2.3.3 - Sensor de temperatura

Sendo a temperatura uma medida de energia cinética medida em uma amostra de material expressa em unidade de graus em uma escala padrão (NATIONAL INSTRUMENTS, 2013), podemos medi-la de várias formas diferentes que fazem com que o custo e a precisão desses equipamentos também variem.

Os sensores mais comuns de temperatura são os termopares, RTDs e os termistores.

#### 2.3.3.1 - Termopar

Os termopares são sensores comumente utilizados em aplicações de medição de temperatura por serem relativamente baratos, que apresentam boa precisão e podem operar em uma larga faixa de temperatura. Um termopar é criado quando dois metais diferentes se tocam e o ponto de contato produz uma pequena tensão de circuito aberto como uma função da temperatura (NATIONAL INSTRUMENTS, 2013).

Figura 9 - Exemplo de termopar



Fonte: ( NATIONAL INSTRUMENTS, 2013)

A partir dessa tensão termoelétrica, conhecida como tensão de Seebeck, pode-se então calcular a temperatura. Para pequenas mudanças na temperatura, a tensão é aproximadamente linear. Os tipos mais comuns de termopares são os termopares B, E, K, R, S e T, sendo que as letras maiúsculas indicam suas composições de acordo com as convenções do American National Standards Institute (ANSI).

### 2.3.3.2 - RTD (Resistance Temperature Detector)

Os RTDs são dispositivos que são fabricados por bobinas ou filmes de metal, na maioria das vezes esse metal é a platina. A resistência do metal aumenta, conforme é aquecido e sua resistência diminui quando o mesmo é resfriado. Ao passar uma corrente através de um RTD, gera-se uma tensão sobre ele, ao medir essa tensão pode-se determinar sua resistência, e com isso sua temperatura. Essa relação entre temperatura e resistência pode ser considerada relativamente linear. O RTDs apresentam resistências de  $100 \Omega$  quando se encontram a  $0^\circ\text{C}$  e apresentam seu limite superior de medição em  $850^\circ\text{C}$ .

Figura 10 - Exemplo de RTD



Fonte: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2013)

### 2.3.3.3 - Termistor

O termistor é um semicondutor que tem como material de fabricação óxidos metálicos, os dois segmentos são pressionados em uma pequena gota, disco ou outra forma sinterizada para medir temperaturas elevadas, revestidos com epóxi ou vidro. Assim como os RTDs, a corrente é passada através de um termistor para que seja lida a tensão e assim determinar a temperatura. A diferença entre os termistores e os RTDs se dá quanto a suas resistências, as dos termistores apresentam valores mais elevados, entre  $2.000$  e  $10.000 \Omega$ , e conseqüentemente sensibilidade muito maior ( $\sim 200 \Omega/^\circ\text{C}$ ), o que permite sensibilidades maiores sem limitações de faixa de temperatura (até  $300^\circ\text{C}$ ).

Figura 11 - Exemplo de termistor



Fonte: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2013)

## 2.4 - CONDICIONAMENTO DE SINAIS DE TEMPERATURA

Para a realização de medições precisas e confiáveis de temperatura, torna-se necessário o condicionamento dos sinais gerados pelos sensores. Portanto juntamente com o sensor, é importante considerar os seguintes itens de condicionamento de sinais:

- Amplificação;
- Isolamento;
- Filtragem;
- Excitação;
- Precisão;
- Resolução;
- Compensação de junta fria (CJC).

### 2.4.1 - Amplificação

Tipicamente os sinais de saída dos sensores são na faixa de milivolt, sendo necessário a sua amplificação, e ao mesmo tempo tomar cuidado para a prevenção de ruídos. É

importante a escolha correta do ganho, para a otimização dos limites de entrada do conversor analógico-digital (ADC) no *hardware*.

#### 2.4.2 - Isolamento

Termopares em contato direto com material condutor (aço ou água, por exemplo), montado ou soldado, torna-se uma fonte de ruído no sinal, isso faz com que os termopares fiquem suscetíveis a tensão de modo comum e malhas de terra. O material condutor apresenta uma tensão de modo comum maior, portanto o isolamento é necessário porque os amplificadores não isolados não podem medir sinais com tensões de modo comuns grandes.

#### 2.4.3 – Filtragem

Os filtros são utilizados para eliminar ruídos de alta frequência. Um exemplo são os ruídos de 60Hz da rede elétrica, os quais são predominantes em muitos laboratórios e plantas industriais.

#### 2.4.4 - Excitação

A passagem de corrente nos RTDs e termistores proporcionam calor extra, podendo aumentar a temperatura do elemento de detecção, causando erro na medição. Para minimizar esses efeitos de autoaquecimento é fornecida uma corrente de excitação menor.

#### 2.4.5 - Precisão e Resolução

A filtragem e amplificação podem melhorar drasticamente a precisão das medições, porém a resolução é outro fator importante e deve ser comparado com a aplicação ao *hardware* de aquisição de dados selecionado, além das considerações do sensor.

#### 2.4.6 - Compensação de junta fria (CJC)

A CJC se torna necessária para a utilização de termopares pois melhora a precisão da medição, fornecendo a temperatura na conexão entre o termopar e o terminal do dispositivo de aquisição de dados, onde é gerada uma tensão.

### 2.5 - *HARDWARE*

Esse dispositivo é responsável por digitalizar os sinais recebidos na saída do sensor para que possam ser interpretados pelo computador, atuando como uma interface entre os sinais gerados e o computador.

O *hardware* tem como seus principais componentes os circuitos para condicionamento de sinais, o conversor analógico-digital e o barramento do computador.

#### 2.5.1- Circuitos para condicionamento

Os sinais provenientes dos sensores podem conter ruídos, os quais são indesejáveis na aquisição de dados, podendo ser perigosos quando medidos diretamente. Os circuitos de condicionamento de sinais colocam o sinal em um formato adequado para a entrada em um ADC. Esses circuitos podem incluir amplificação, atenuação, filtragem e isolamento. Alguns dispositivos DAQ contêm condicionamento de sinais projetado para a medição com tipos específicos de sensores (NATIONAL INSTRUMENTS, 2013).

### 2.5.2 - Conversos analógico-digital (ADC)

Os sinais analógicos ao serem transferidos para equipamentos digitais, onde serão manipulados, necessita da conversão do sinal originalmente analógico para sinais digitais. Um ADC é um chip que fornece a representação digital de um sinal analógico em um instante do tempo. Na prática, os sinais analógicos variam continuamente ao longo do tempo e um ADC coleta "amostras" periódicas de um sinal em uma taxa predefinida. Essas amostras são transferidas por um barramento ao computador, onde o sinal original é reconstruído a partir das amostras do *software* (NATIONAL INSTRUMENTS, 2013). Permitindo assim a sua manipulação.

### 2.5.3 - Barramento do computador

Uma vez feito o condicionamento e a conversão dos sinais, o dispositivo DAQ é então conectado ao computador por meio de um slot ou porta. O barramento do computador atua como interface de comunicação entre o dispositivo DAQ e o computador, para transmitir instruções e dados de medição (NATIONAL INSTRUMENTS, 2013).

Os barramentos de computador mais comuns são USB, PCI, PCI Express e Ethernet. Mais recentemente, surgiram dispositivos DAQ para comunicações sem fio no padrão 802.11 *Wi-Fi*. Há muitos tipos de barramentos; cada um deles oferece diferentes vantagens para diferentes tipos de aplicações. (NATIONAL INSTRUMENTS, 2013).

## 2.6 – COMPUTADOR

O computador com *software* programável controla a operação do dispositivo DAQ, sendo usado para o processamento, visualização e armazenamento de dados de medição. Diferentes tipos de computadores são usados em diferentes tipos de aplicações.

Para a utilização em laboratórios pode ser usado um desktop, por sua capacidade de processamento, caso seja necessária a utilização de aquisição em campo, um laptop pode ser utilizado por sua portabilidade e facilidade de movimentação.

No caso da planta estudada, é utilizado o *software* LabView, para o qual a faculdade de engenharia de Guaratinguetá já dispões de licença para sua utilização, e já encontra-se instalado em computadores do departamento de energia, o que possibilita o estudo e desenvolvimento de suas funções por parte dos alunos e corpo docente.

### CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi iniciado com a revisão bibliográfica onde os conceitos de ciclos termodinâmicos, estudados durante a graduação nas disciplinas de energia, foram revistos. O ciclo de Rankine simples teve seu estudo mais aprofundado, uma vez que é o ciclo utilizado no processo de geração da planta instalada no laboratório do Departamento de Energia DEN – UNESP Campus de Guaratinguetá. A revisão contou também com o estudo do sistema de aquisição de dados, seu processo e seus componentes.

Os componentes do sistema para aquisição de dados teve atenção especial nessa etapa, quando foram detalhados segundo suas aplicações e faixas de utilização em processos industriais.

Paralelamente com a revisão bibliográfica, foi realizada a avaliação da estrutura do laboratório, através da análise dos equipamentos instalados na planta e seus respectivos dados técnicos. Ensaios foram realizados para avaliar os parâmetros de operação da planta, sendo esses utilizados no trabalho para a especificação dos equipamentos desse projeto.

Os ensaios serviram também para a avaliação das medições que seriam importantes para a prática dos experimentos didáticos.

Uma vez definida a estrutura da planta e os parâmetros do processo, foi verificado os recursos disponíveis para a realização do projeto, visando aproveitar equipamentos e dispositivos já adquiridos anteriormente pelo departamento. Foi definido também nessa etapa o número de sensores que seriam necessários para a aquisição dos parâmetros definidos.

Com a estrutura e recursos definidos para o projeto, deu início a fase de pesquisa por equipamentos e dispositivos que fossem adequadas para o processo, buscando configurações que permitissem a maior utilização possível de equipamentos já existentes. Durante essa etapa foram consultados sites e catálogos de fabricantes dos equipamentos que precisariam ser adquiridos para o projeto. A pesquisa buscou por opções diferentes para a melhor configuração possível do sistema.

Após a realização das pesquisas, foi iniciada a análise dos possíveis sensores para a aquisição das grandezas definidas, assim como seus componentes e *hardwares* necessários para sua correta aquisição dos dados gerados pela planta termelétrica. Novamente o estudo

dos conceitos sobre instrumentação, principalmente sensores, foi necessária para especificar os equipamentos mais adequados para os parâmetros do processo.

A etapa seguinte contou com a definição do sistema completo de sensores e *hardwares* adequados para a correta e mais confiável aquisição dos dados gerados pelo processo, levando em conta a maior utilização dos equipamentos já disponíveis no departamento.

Este trabalho contou com a utilização dos seguintes materiais:

- Computador com *software* LabView instalado;
- Dispositivo NI 9213 (módulo de entrada de termopar com 16 canais);
- Dispositivo NI 9229 (módulo de entrada analógica da série C com 4 canais);
- Medidor de vazão tipo turbina.

Todos os materiais citados acima foram fornecidos pela instituição de ensino, a qual forneceu todo o suporte necessário para viabilizar a realização desse trabalho.

## CAPÍTULO 4 - ANÁLISE

### 4.1 - EQUIPAMENTOS DO LABORATÓRIO

Seguindo a sequência do ciclo termodinâmico de Rankine encontram-se instalados na planta uma caldeira a vapor vertical, um superaquecedor, uma turbina a vapor, um trocador de calor, uma bomba de vácuo e uma torre de resfriamento.

Cada um dos componentes possui uma função específica no ciclo, portanto foi realizada a análise de cada um deles separadamente, avaliando seus dados técnicos e o papel que desempenha no processo.

#### 4.1.1 - Caldeira

As caldeiras são definidas como equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia, excetuando-se os refervedores e equipamentos similares utilizados em unidades de processo (NR 13.1.1, 1978).

Na caldeira, a energia do combustível é liberada e transferida para a água da caldeira pelos processos de condução, convecção e radiação. Transformando assim energia térmica em energia química, sendo esse o primeiro processo do ciclo termodinâmico.

A planta utiliza uma caldeira vertical sem tubos para vapor e seu modelo é o DBS-020 NG Serie E – Gas Fired Steam Boilers (6E – 60E), da fabricante Fulton Boiler Works Limited. A figura 12 mostra a caldeira do Departamento de Energia DEN – UNESP Campus de Guaratinguetá de pequeno potencial, por ser voltada para utilização de experimentos didáticos, de geração de vapor, podendo ser utilizada também para pequenas instalações, seus dados técnicos são apresentados na tabela 1.

Figura 12 - Caldeira DBS-020 NG Serie E – Gas Fired Steam Boilers (6E – 60E) instalada no DEN – Departamento de Energia – UNESP Campus de Guaratinguetá.



Fonte: (SILVA, 2013)

Tabela 1 - Informações técnicas da caldeira DBS-020 NG Serie E – Gas Fired Steam Boilers (6E – 60E)

Informações Técnicas	Modelo da Caldeira								
	6E	8E	10E	15E	20E	30E	40E	50E	60E
Performance [Kg/h] (F & A 100°C)	96	128	160	240	320	480	640	800	960
Volume de Água [L]	59	68	91	150	291	640	927	927	1022
Peso Aproximado [Kg]	700	720	810	965	1420	2030	3050	3050	3150
Altura Vertical (mm)	2060	2160	2210	2365	2440	2745	2845	2845	3000

Fonte: (SILVA, 2013)

#### 4.1.2 - Turbina a vapor

A turbina é um equipamento rotativo, que normalmente opera em regime permanente, dedicado à produção de trabalho de eixo (ou potência). O trabalho realizado na turbina é produzido à custa da queda de pressão do fluido de trabalho (INCROPERA et al, 2008).

A corrente de fluxo do fluido passa pelas paletas da turbina, as quais são acopladas a um rotor e é transferida para um eixo, ou seja, a energia calorífica do vapor é transformada em energia mecânica, a qual pode ser utilizada para movimentação de outros equipamentos ou como no caso da planta termelétrica, ser transformada em energia elétrica quando acoplada a um gerador.

O modelo da turbina instalado na planta é o C/D 3000 10KW Educational Steam Turbine Dynamometer (figura 13) fabricado pela Greenbat Limited que assim como a caldeira é projetado para utilização didática para pequenas instalações, sendo essa acoplada a um dinamômetro, o qual possibilita algumas medições e conversões para a prática dos experimentos. A tabela 2 apresenta os dados técnicos do modelo instalado.

Figura 13 - Turbina a vapor C/D 3000 10KW Educational Steam Turbine Dynamometer instalada no DEN – Departamento de Energia – UNESP Campus de Guaratinguetá.



Fonte: (SILVA, 2013)

Tabela 2 - Informações técnicas da turbina Greenbat C/D 3000

Informações Técnicas	Turbina Greenbat C/D 3000
Pressão de Vapor [PSI]	120
Temperatura [°F superaquecido]	100
Pressão de exaustão condensado [cm.Hg]	63,5 - 66,0
Pressão de exaustão não condensado [cm.Hg]	Atmosférico
Velocidade final de direção [rpm]	3000
Potência de Saída [KW]	4,4
Pressão do óleo (trabalho) [Bar]	0,305 - 0,70
Pressão mínima do óleo [Bar]	0,21
Torque radial do braço [m]	0,305
Proporção de redução da velocidade	8:1
Diâmetro do bocal (condensado) [mm]	3,9
Diâmetro do bocal (não condensado) [mm]	5,8
Altura Vertical (mm)	2060

Fonte: (SILVA, 2013)

#### 4.1.3 - Sistema de resfriamento (condensador/bomba/torre de resfriamento)

Um trocador de calor é um equipamento utilizado para transferir calor entre dois fluídos que estão a diferentes temperaturas. Os trocadores de calor são encontrados usualmente em instalações de ar condicionado, nas plantas de geração de potência, nas indústrias químicas, de alimentos, de petróleo, entre muitas outras.

O condensador instalado na planta é do modelo casco e tubo, o qual é utilizado quando se necessita de grandes áreas para transmissão de calor. Ele consiste de tubos paralelos, por onde circula um dos fluidos, montados num casco cilíndrico, no qual circula o outro fluído. Esse tipo de trocador apresenta vantagens de fabricação, custos e desempenho térmico, e por isso são amplamente utilizados em processos industriais. Podem ser construídos com grandes superfícies de troca de calor em um volume relativamente pequeno, apresentando grande flexibilidade nas condições de projeto e operação (ampla faixa de temperatura e pressão). Os dados técnicos do condensador de casco e tubo instalado são mostrados na tabela 3.

Tabela 3 - Informações técnicas do condensador Greenbat

Informações Técnicas	Condensador Greenbat
Capacidade Nominal [kg/h]	225 - 270
Potência do motor nominal bomba de vácuo [KW]	0,75
Área de transferência de calor nominal [m <sup>2</sup> ]	3,0657
Número de tubos	32
Comprimento dos tubos [m]	1,6764
Espessura dos tubos [mm]	1,219
Numero de passes	1
Diâmetro de saída [cm]	1,905
Material do tubo	Alumínio e Latão
Diâmetro nominal do casco [cm]	25,4
Máxima temperatura de resfriamento da água [°C]	21,11
Máxima taxa de resfriamento da água [L/h]	16820
Material do Casco	Aço

Fonte: (SILVA, 2013)

No processo, o vapor expandido que sai da turbina entra no condensador, onde tem seu calor transferido para a água que circula entre o tubo do equipamento, após essa etapa o condensado é então transferido para fora do condensador através da bomba de vácuo, sendo assim transportada para a bomba de circulação do sistema, onde reinicia o processo. A água utilizada para condensar o vapor é então transportada para a torre de resfriamento.

Figura 14 - Bomba de vácuo Greenbat Instalada no DEN – Departamento de Energia – UNESP Campus de Guaratinguetá.



Fonte: (SILVA, 2013)

A torre de resfriamento (figura 15) é utilizada para transferir calor residual de processo para a atmosfera, eliminando assim o calor absorvido pela água no trocador de calor do processo.

Figura 15 - Torre de resfriamento instalada no DEN – Departamento de Energia – UNESP Campus de Guaratinguetá.



Fonte: (SILVA, 2013)

#### 4.2 - ESPECIFICAÇÃO

Durante o ano de 2013 foram realizados 3 ensaios no laboratório, um no primeiro semestre e 2 no segundo, onde foi possível adquirir os dados que compõem a tabela 4, a qual foi utilizada para a definição de quais seriam as grandezas físicas necessárias para a prática de experimentos e correto controle do processo.

Após o estudo do ciclo termodinâmico, juntamente com as informações dos equipamentos instalados no laboratório e parâmetros do processo, foi definido que haveria a necessidade da medição de nível, pressão, temperatura e vazão. Para a definição dos sensores adequados para as medições de cada uma das grandezas foram utilizados os dados do ensaio realizado no laboratório.

O departamento já possui um medidor de nível para instalação na planta, portanto não foi considerado sua especificação nesse trabalho, porém o mesmo foi considerado na especificação dos *hardwares*.

Tabela 4 - Parâmetros do ensaio

Parâmetros do Ensaio	
Pressão da Caldeira [Kpa]	120
Pressão do Superaquecedor [Kgf/cm <sup>2</sup> ]	2,9
Temperatura do Superaquecedor [°C]	270
Temperatura do Vapor na Saída da Turbina [°C]	100
Temperatura do Vapor na Saída do Trocador [°C]	60
Temperatura da água da Torre entrada do Trocador [°C]	27
Temperatura da água da Torre saída do Trocador [°C]	45
Rotação da Turbina a Vapor [rpm]	2250
Pressão da Turbina a Vapor [Kgf/cm <sup>2</sup> ]	0,6

Fonte: (SILVA, 2013)

A tabela 5 mostra a comparação de dispositivos e sistemas e é resultado da pesquisa no site da National Instruments, que possibilita a análise dos pontos positivos de cada um dos sistemas e dispositivos oferecidos pela empresa. A escolha pelos equipamentos da National Instruments para a elaboração desse trabalho se deve ao fato da faculdade possuir a licença para a utilização do *software* LabView, o qual já se encontra instalado em computadores da faculdade.

Os recursos avaliados na análise dos sistemas e dispositivos foram os seguintes:

- Barramentos: Conexões físicas ou sem fio para a comunicação entre o dispositivo DAQ e um PC.
- Portabilidade: Característica relativa ao seu tamanho, peso e facilidade de conexão a um PC.
- Quantidade de canais de E/S: Quantidade total de canais de E/S analógicos/digitais fornecida por um dispositivo ou sistema.

- Configuração de E/S:
  - Fixo – Melhor valor para as aplicações mais comuns.
  - Modular – Maior flexibilidade para atender requisitos específicos das aplicações.
- Taxa máxima de Amostragem: A taxa máxima na qual um dispositivo ou módulo pode amostrar um sinal. Uma taxa de amostragem alta captura mais detalhes da forma de onda, uma taxa baixa, pode distorcê-la.
- Condicionamento de sinais: Circuitos eletrônicos que condicionam um sinal antes de ele ser digitalizado.
- Sincronização/trigger: A capacidade de coordenar eventos e amostragens entre vários subsistemas, dispositivos ou módulos DAQ.

Tabela 5 - Comparação de dispositivos e sistemas

	Dispositivos		Sistemas	
	DAQ portáteis	DAQ em desktop	NI CompactDAQ	Plataforma PXI
	USB, Wi-Fi, Ethernet	PCI e PCI Express	USB, Wi-Fi, Ethernet	PXI e PXI Express
				
	<b>Montagem simples</b>  Facilmente conectados a qualquer PC	<b>Integração ao PC</b>  Velocidade máxima na transferência de dados.	<b>Várias medições</b>  Sistemas customizados com diversos tipos de chassis e módulos.	<b>Alto desempenho</b>  Otimizados para grandes quantidades de canais e sincronização precisa.
<b>Recursos</b>	DAQ portáteis	DAQ em desktop	NI CompactDAQ	Plataforma PXI
<b>Barramentos</b>	USB, Wi-Fi, Ethernet	PCI, PCI Express	USB, Wi-Fi, Ethernet	PXI, PXI Express
<b>Portabilidade</b>	O melhor	Bom	Melhor	Bom
<b>Quantidade de canais de E/S</b>	1 a 100	1 a 100	1 a 250	1 a +1000
<b>Configuração de E/S</b>	Fixo	Fixo	Modular	Modular
<b>Taxa máx. de amostragem</b>	2 MS/s	10 MS/s	1 MS/s	10 MS/s
<b>Com condicionamento de sinais</b>	Disponível	Não	Sim	Disponível
<b>Sincronização/trigger</b>	Bom	Melhor	Melhor	O melhor
<b>Linguagens de programação</b>	LabVIEW, C, C++, VB .NET, C# .NET			
<b>Sistemas operacionais</b>	Windows, Linux, Mac OS X	Windows, Linux, Mac OS X, Real-Time	Windows	Windows, Linux, Real-Time
<b>Software incluído</b>	NI LabVIEW SignalExpress LE (somente para Windows)			

Fonte: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2013).

Uma vez definida as grandezas a serem medidas e finalizada a pesquisa sobre os *hardwares* disponíveis, foi analisado os recursos que o departamento já dispunha.

O departamento de energia já possui um chassi CompactDAQ com 4 slots USB, modelo cDAQ-9174 (figura 16) que dispõe dos seguintes recursos:

- Mais de cinquenta módulos de E/S com troca a quente e condicionamento de sinais integrado à disposição;
- Acesso a quatro contadores/temporizadores de uso geral de 32 bits incorporados ao chassi através de módulo digital;
- Execução simultânea de sete operações com temporização de *hardware* em canais analógicos, digitais ou de contador/temporizador;
- Envio contínuo dos resultados das medições de formas de onda, com nossa tecnologia patenteada NI Signal Streaming;
- Sistema operacional Windows 7;

Figura 16 - cDAQ-9174



Fonte: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2013).

O departamento possui também dois *hardwares*, um modelo NI 9213 (figura 17) para aquisição específica de sinais provenientes de termopares, e outro módulo modelo NI 9229 (figura 18) que apresenta leitura de sinais de tensão.

Figura 17 - NI 9213



Fonte: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2013).

O NI 9213 possui 16 canais com resolução de 24 bits, e apresenta os seguintes recursos:

- CJC (compensação de junção fria) incorporada;
- Modo de alta velocidade para 75 S/s / canal (taxa/canal após o mux);
- Isolação de segurança entre canais e terra do sistema de 250 Vrms;
- Zeragem automática de canais, para a compensação de erros de offset;
- ADC de 24 bits, para medições com sensibilidade de até 0,02 °C;
- Suporte a termopares tipo J, K, T, E, N, B, R e S.

Figura 18 - NI 9229



Fonte: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2013).

O NI 9229 possui 4 canais e resolução de 24 bits, e apresenta os seguintes recursos:

- Isolação entre canais de 250 Vrms;
- Entradas simultâneas de 50 kS/s / canal;
- Filtro antialias;
- Faixa de  $\pm 60$  V;
- Faixa dinâmica de 128 dB.

A análise dos *hardwares* já existentes possibilitou o estudo dos possíveis sensores para a planta. Como mostrado anteriormente, o *hardware* NI 9213 possui recursos específicos para medição de sinais de termopares, tornando mais viável a utilização desse tipo de sensor para medição das temperaturas do processo.

Os termopares possuem diversas configurações, alguns tipos estão representados na tabela 5. A diferença entre eles é devido ao material com o qual cada tipo é fabricado, o que faz com que apresentem faixas de temperatura de operação diferentes um do outro.

Tabela 6 - Faixas de utilização de termopares

Tipos de termopar	Faixa de utilização
K	-270 °C a 1200 °C
E	-270 °C a 1000 °C
J	-210 °C a 760 °C
B	0 °C a 1820 °C
R e S	-50 °C a 1768 °C
T	-270 °C a 370 °C

Fonte: Elaborada pelo autor

Utilizando as informações da tabela 5, foi definida a utilização do termopar do tipo J, uma vez que a temperatura máxima medida aproximou-se dos 300°C, sendo esse termopar uma opção boa devido a sua faixa de utilização em relação aos outros.

Foi realizada uma pesquisa sobre os diferentes tipos de medidores de nível, e após a análise junto a diferentes fabricantes, foi definido que a melhor opção encontrada para a utilização no interior da caldeira, onde temos pressão e temperatura elevadas, foi o medidor de nível magnético (figura 19). Esse modelo de medidor opera pelo princípio de vasos comunicantes, onde um flutuador provido de ímã permanente atua sobre indicadores magnéticos que alteram a sua cor com a alteração do nível dentro da câmara. A vantagem

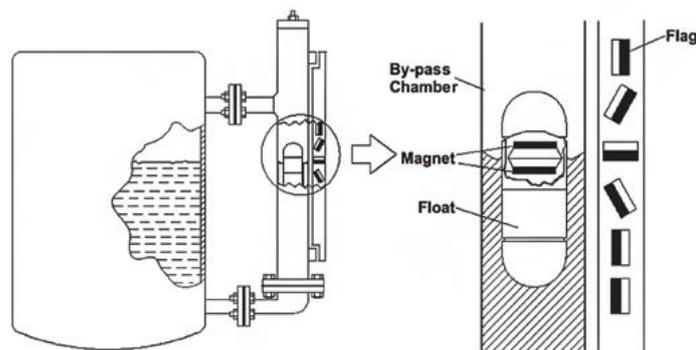
deste tipo de medidor é o fato de que a câmara externa do sistema de indicação não tem contato físico com o fluido que está sendo medido, sendo recomendado para aplicações em temperaturas e pressões elevadas. A figura 20 apresenta o funcionamento do transmissor de nível magnético.

Figura 19 - Transmissor de nível magnético - série ING Contech



Fonte: (CONTECH, 2013).

Figura 20 - Funcionamento do transmissor de nível magnético



Fonte: (CONTECH, 2013).

Para a medição de pressão, a opção mais adequada para o processo foi a utilização de sensores baseados no princípio piezelétrico (figura 21), o qual converte a pressão em sinal elétrico (4 a 20mA) proporcional e linear ao valor da pressão aplicada ao sensor. O qual pode ser utilizado para medição de ar, gás ou líquido e resistente a temperatura elevada encontrada no processo.

Figura 21 - Transmissor de pressão (série MBS 3000 - Contech)



Fonte: (CONTECH, 2013)

O medidor de vazão de vazão já foi adquirido pelo Departamento de Energia DEN – UNESP Campus de Guaratinguetá e corresponde a um medidor de vazão tipo turbina, com faixa de vazão de 4,7 a 36 litros/minuto, da empresa Incontrol, e assim como o transmissor de vazão apresenta sinal de saída 4 a 20 mA.

Figura 22 - Medidor de vazão tipo turbina - Incontrol



Fonte: (INCONTROL, 2013)

O *hardware* modelo NI 9229 que o departamento dispões não é compatível com esse sinal, tornando necessário a aquisição de um *hardware* para sinais de saída 4 a 20 mA.

A aquisição de um dispositivo de um *hardware* para condicionamento de sinais 4 a 20 mA já seria necessário devido ao medidor de vazão que apresente esse tipo de saída.

Uma vez definido o *hardware* necessário, foram analisadas as opções disponíveis para esse tipo de aplicação junto a National Instruments, e a melhor escolha dentre os disponíveis é o modelo NI 9203 (figura 23) com 8 canais, taxa de amostragem de 200kS/ e resolução de 16 bits.

Figura 23 - NI 9203

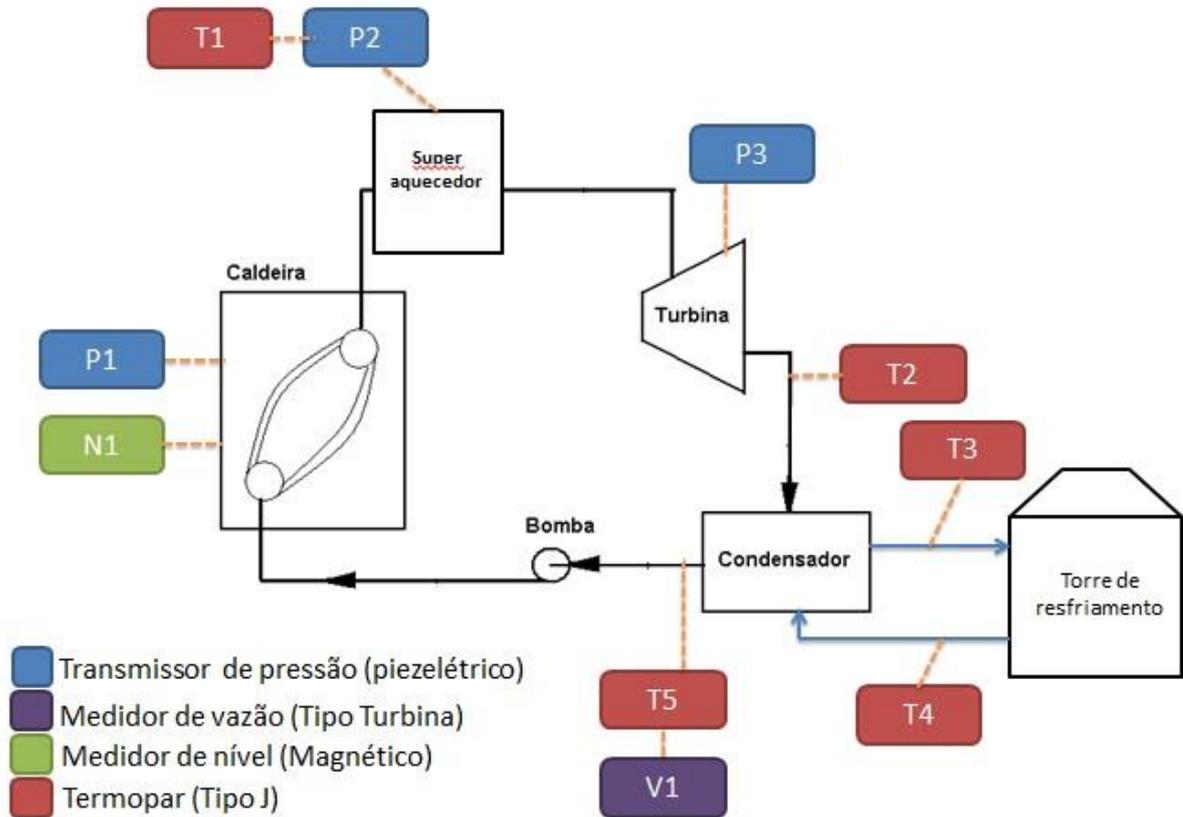


Fonte: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2013).

Considerando o aproveitamento dos materiais disponíveis no departamento de energia, ainda assim, será necessário adquirir os seguintes equipamentos: módulo 9203, termopares do tipo J, transmissores de pressão piezelétricos e medidor de nível magnético para a completa instrumentação do laboratório do Departamento de Energia DEN–UNESP Campus de Guaratinguetá.

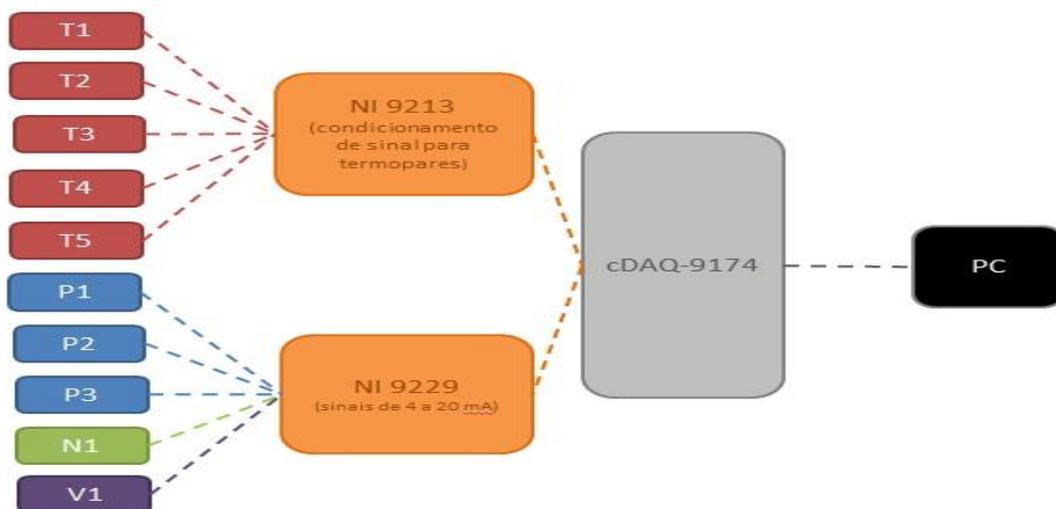
A figura 24 representa como ficará a distribuição do sistema com os equipamentos especificados nesse trabalho, com suas respectivas localizações no processo já instalado no local. A figura 25 ilustra a configuração do sistema de aquisição de dados DAQ, mostrando quais os condicionadores de sinal para cada um dos equipamentos de medição, até sua correta aquisição para o computador.

Figura 24 - Distribuição dos instrumentos de medição no laboratório do Departamento de Energia DEN-UNESP – Campus de Guaratinguetá.



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 25 – Configuração do sistema de aquisição de dados DAQ



Fonte: Elaborada pelo autor

O trabalho e a especificação dos componentes do sistema foram baseados nas informações contidas na tabela 4, sendo essa configuração capacitada para a aquisição de cinco termopares, três transmissores de pressão, um medidor de nível e um medidor de vazão. Configuração que é considerada suficiente para atender as necessidades do laboratório, assim como uma possível ampliação futura de instrumentação da planta, uma vez que os dispositivos DAQ ainda apresentam canais não utilizados na configuração proposta.

## CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO

A realização desse trabalho possibilitou a visualização mais clara do cenário dos recursos e demandas atuais do departamento para a realização da aquisição de dados da planta instalada no laboratório.

O trabalho apresenta como resultado a configuração de um sistema em que se tem a maior utilização possível dos recursos e as opções mais adequadas para aquisição de equipamentos, atingindo assim o objetivo proposto inicialmente. A configuração especificada possibilita a ampliação desse sistema ao contar com opções de canais para mais sensores.

Fica como sugestão para trabalhos futuros a realização de um trabalho para a programação do *software* LabView, com o objetivo de proporcionar o processamento, visualização e armazenamento dos dados de medição gerados pelo sistema de aquisição de dados especificados nesse trabalho.

## REFERÊNCIAS

INCROPERA, F. P.; DE WITT, D. P.; BERGMAN, T. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 643 p.

NATIONAL INSTRUMENTS. **Produtos e soluções**. National Instruments Brasil. Disponível em: <<http://brasil.ni.com>>. Acesso em: 01 dez. 2013.

WIKIPEDIA. **Rankine cycle**. ENGLISH WIKIPEDIA. Disponível em: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Rankine\\_cycle](http://en.wikipedia.org/wiki/Rankine_cycle)>. Acesso em: 03 dez 2013.

THOMAZINI, Daniel, ALBUQUERQUE, Pedro U. B. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**. 5. ed. São Paulo: Érica Ltda, 2008.

SILVA, M. A. de O. **Estabelecimento de rotinas de operação e orientações de manutenção para a planta termelétrica do DEN/FEG/UNESP**. 2013. Trabalho de graduação (Graduado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

CONTECH. **Produtos**. CONTECH. Disponível em: <<http://www.contechind.com.br/>>. Acesso em: 10 dez 2013.

INCONTROL. **Linha de produtos**. INCONTROL INTELLIGENT CONTROL. Disponível em: <<http://www.incontrol.ind.br/>>

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO DO BRASIL. **NR 13.1.1**: resumos. Rio de Janeiro, 1978.