



**DIOGO DOS SANTOS BEYER**

**CONSTRUÇÃO DE UM MEDIDOR DE VAZÃO PARA UMA BANCADA  
DIDÁTICA DO TIPO TURBINA PELTON**

Horizontina

2014

**DIOGO DOS SANTOS BEYER**

**CONSTRUÇÃO DE UM MEDIDOR DE VAZÃO PARA UMA BANCADA  
DIDÁTICA DO TIPO TURBINA PELTON**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Richard Thomas Lerner, Dr.

Horizontina

2014

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:**

**“CONSTRUÇÃO DE UM MEDIDOR DE VAZÃO PARA UMA BANCADA DIDÁTICA  
DO TIPO TURBINA PELTON”**

**Elaborada por:**

**DIOGO DOS SANTOS BEYER**

como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 19/11/2014  
Pela Comissão Examinadora**

---

**Prof. Dr. Richard Thomas Lerner  
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

---

**Prof. Dr. Ademar Michels  
FAHOR – Faculdade Horizontina**

---

**Prof. Me. Anderson Dal Molin  
FAHOR – Faculdade Horizontina**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por estar sempre presente e iluminar minha trajetória. A meus familiares, amigos e colegas, mas especialmente a meus pais e companheira, por serem o meu pilar e me manterem em pé por toda esta jornada.

Ao orientador e professores pelos ensinamentos e paciência durante todos estes anos.

## RESUMO

Este trabalho apresenta a construção de um medidor para ser aplicado em uma bancada didática equipada com uma turbina tipo Pelton, para medição da vazão de fluido que passa pela canalização da turbina, informações como esta, são fundamentais para determinação da eficiência das turbinas hidráulicas e podem servir para verificações e ajustes automáticos do sistema de geração de energia. Com a aplicação do medidor na bancada didática, consegue-se fazer uma análise comparativa entre o medidor desenvolvido e um rotâmetro utilizado como padrão, através de um contador de pulsos realiza-se uma contagem durante 10 segundos, com vazões conhecidas e ajustadas através do rotâmetro em série com o medidor de construído, para cada leitura de vazão no rotâmetro, foram realizadas coletas e representadas graficamente. Os resultados de medição obtidos ficaram entre 6 e 14 m<sup>3</sup>/h e apresentaram-se muito próximos dos valores medidos pelo rotâmetro, concluindo-se que é possível construir um medidor de vazão muito próximo de medidores encontrados em fabricantes especializados, empregando-se técnicas de fabricação e montagem relativamente simples, juntamente com a utilização de materiais de fácil aquisição no mercado.

**Palavras-chave:** Turbina Pelton. Medidor de vazão. Construção.

## **ABSTRACT**

This paper presents the construction of a meter to be applied in a didactic bench equipped with a turbine Pelton, for measuring the flow of fluid passing through the conduit of the turbine, information like this are key to determining the efficiency of hydraulic turbines and can serving for checking and automatic adjustment of the power generation system. With the application of the didactic bench meter, one can make a comparative analysis between the meter and developed a flowmeter used by default, through a pulse counter is carried out a count for 10 seconds with known flow and adjusted through the flowmeter in series with the meter built for each flow reading on the flowmeter, samples were taken and plotted. The measurement results obtained were between 6 and 14 m<sup>3</sup> / h and showed up very close to the values measured by the flowmeter, concluding that it is possible to construct a flow meter very close meters found in specialized manufacturers, using manufacturing techniques and relatively simple assembly with the use of easily obtainable materials on the market.

**Keywords:** Pelton Turbine. Flowmeter. Construction.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bancada Didática com Turbina Pelton .....	11
Figura 2 - Características de acordo com a perturbação .....	14
Figura 3 - Imagem de um hidrômetro .....	15
Figura 4 - Tipos de elementos primários .....	16
Figura 5 - Elementos do rotâmetro .....	17
Figura 6 - Medidor de vazão tipo Turbina.....	18
Figura 7 - Variação de tensão de forma analógica .....	21
Figura 8 - Variação da posição de um objeto lida por um sensor digital .....	22
Figura 9 - Esquema de ligação sensor PNP.....	23
Figura 10 - Esquema de ligação sensor PNP.....	23
Figura 11 - Representação da face sensora e a distância de detecção do sensor .....	24
Figura 12 - CLP CLIC-02/WEG .....	25
Figura 13 - Modelagem computacional 3D do Medidor de Vazão, vista explodida e em corte .....	27
Figura 14 - Fabricação do medidor de vazão, torneamento e furação em fresa .....	28
Figura 15 - Remodelagem da canalização, antes (a) e depois (b) da remodelagem ....	29
Figura 16 - Programa desenvolvido no Software Clic02 Edit .....	30
Figura 17 - Sistema para teste e validação do contador de pulsos .....	31
Figura 18 - Instalação do medidor de vazão na canalização da bancada didática.....	32
Figura 19 - Regulagens de vazão no rotâmetro .....	33
Figura 20 - Medidor de vazão desenvolvido.....	34
Figura 21 - Gráfico da vazão em função do número de pulsos .....	35

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos Medidores de Vazão segundo NBR 10396/88 .....	13
Quadro 2 - Correlação entre a característica de intrusividade e invasividade.....	14
Quadro 3 - Dados adquiridos .....	34
Quadro 4 - Resultados de vazão obtidos pela análise de regressão .....	36
Quadro 5 - Resultados de vazão obtidos através da Equação 6.....	37

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>08</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	09
1.2 OBJETIVOS .....	09
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>10</b>
2.1 TURBINAS HIDRÁULICAS .....	10
2.1.1 BANCADA DIDÁTICA COM TURBINA PELTON .....	10
2.2 VAZÃO .....	11
2.3 MEDIÇÃO DE VAZÃO .....	11
2.3.1 MEDIDORES DE VAZÃO.....	12
2.3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS MEDIDORES DE VAZÃO.....	13
2.3.3 MEDIDOR DE ÁREA VARIÁVEL .....	17
2.4 MEDIDORES DE VELOCIDADE .....	18
2.4.1 MEDIDOR TIPO TURBINA .....	18
2.4.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO .....	19
2.4.3 CONSTRUÇÃO DO MEDIDOR.....	20
2.5 SENSORES INDUSTRIAIS .....	20
2.5.1 SENSOR.....	20
2.5.2 SENSORES ANALÓGICOS.....	21
2.5.3 SENSORES DIGITAIS .....	21
2.6 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL – CLP .....	24
2.6.1 CLIC-02 DA WEG.....	25
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>26</b>
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS .....	26
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>34</b>
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>38</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>39</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Atualmente a vazão é uma variável que dispõe dos recursos tecnológicos mais diversos para sua medição, necessitando alguns esforços para sua medida em determinadas aplicações.

A necessidade de quantificar o fluxo de líquidos tem sido reconhecida desde o início da civilização, muitas das teorias básicas da hidráulica de medição foram desenvolvidas nos séculos XVII e XVIII, por cientistas como Torricelli, Pitot, Woltman e Venturi.

A demanda e as disputas pelo uso da água aumentaram, conseqüentemente evidenciou-se um aumento na importância da medição de vazão. Com isso, o desenvolvimento de métodos e instrumentos de medição de vazão aplicados para diferentes situações, tornou-se necessário para solucionar estas questões.

O desenvolvimento de medidores e o surgimento de novos conceitos de medição de vazão continuam ocorrendo desde o século XX até hoje, sendo este processo cada vez mais voltado para o emprego de dispositivos eletrônicos no processo construtivo, tornando os equipamentos cada vez mais exatos e precisos, bem como de fácil operação por parte dos usuários.

Os medidores de vazão são fundamentais estratégica e economicamente nos processos industriais, pois, são utilizados para o controle do processo, análise e garantia de qualidade, produtividade, segurança, análise de eficiência, perdas e rendimento, balanço de massa, balanço de energia, transações comerciais, medições contábeis, etc. É notável a importância da medição de vazão no âmbito operacional, comercial, e econômico, pois, esta torna prática a interpretação do quanto em dinheiro convertido em fluido está literalmente “correndo”, ou melhor, escoando.

Frente à complexidade do funcionamento das turbinas hidráulicas e ao atual contexto crescente em termos de geração e aproveitamento de energia em nosso país, foi desenvolvido por estudantes da Fabor, uma bancada didática com uma turbina Pelton para simular o comportamento de uma Central Hidrelétrica.

O problema central deste trabalho está relacionado a possibilitar com o uso de um medidor de vazão, a leitura de valores de vazão de água que passam na canalização da turbina Pelton.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Informações como a vazão de água são fundamentais para determinação da eficiência das turbinas hidráulicas, quando integradas à sistemas computadorizados estas informações podem servir para verificações e ajustes automáticos do sistema de geração de energia, destacando-se que o desenvolvimento deste trabalho deu-se pelo fato da bancada didática não possuir um medidor de vazão que possibilite a interface com um sistema de aquisição de dados, monitoramento computadorizado ou até um Controlador Lógico Programável, possibilitando então a construção de um medidor de vazão eletrônico simples que pode ser aplicado a interfaces de aquisição de dados e sistemas computadorizados com indicação em tempo real da vazão.

Existem diversos tipos de medidores de vazão, entre eles encontram-se os medidores tipo turbina, deslocamento positivo, pressão diferencial, eletromagnéticos, roda d'água, térmico, ultra-sônico, etc. A escolha se deu pela facilidade de fabricação e baixo custo na aquisição dos componentes do medidor, o medidor desenvolvido neste trabalho é também conhecido como medidor de velocidade.

Os medidores de velocidade operam baseados em um princípio de funcionamento eletromecânico, simples porem preciso, na medida em que o fluido fluí, o rotor gira a uma velocidade proporcional a vazão e produz um sinal elétrico pulsado, o qual permite seu interfaceamento com diferentes instrumentos de leitura e controle.

## 1.2 OBJETIVOS

Como objetivo geral, aplica-se a ideia de construção de um medidor de vazão eletrônico que atenda a faixa de vazão de projeto da turbina Pelton da bancada didática da Fahor.

Como objetivos específicos tem-se: definir um tipo de medidor de vazão para ser usado na bancada didática; construir o medidor escolhido; aplicá-lo na bancada didática com a turbina Pelton; realizar medições comparando à um medidor padrão e elaborar um gráfico para compreensão da vazão que flui pela canalização da turbina, através da frequência de pulsos medida.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Na revisão da literatura apresenta-se um breve descritivo sobre as turbinas hidráulicas e a bancada didática com a turbina Pelton para qual o mesmo foi aplicado, as fundamentações teóricas gerais sobre medidores de vazão e os sistemas que o englobam para que se atenda o objetivo do presente trabalho.

### 2.1 TURBINAS HIDRÁULICAS

As turbinas hidráulicas dividem-se em diversos tipos, sendo os principais: Pelton, Francis, Kaplan e Bulbo, a escolha do tipo de turbina varia conforme a aplicabilidade, onde cada tipo é indicado para funcionar em uma determinada faixa de vazão e queda (CARNEIRO, 2010).

Considerando a aplicabilidade em uma bancada didática de vazão 18 m<sup>3</sup>/h, altura de 20 m (altura de queda de água em situação real) e rotação de 500 RPM, aplica-se na mesma o rotor tipo Pelton, as turbinas Pelton possuem uma larga faixa de aplicação e geralmente destacam-se nas Centrais Hidrelétricas devido à tendência a não cavitarem. O rotor é a parte principal de uma turbina hidráulica, pois é nele que ocorre a transformação da energia mecânica em energia de fluido, ou da energia de fluido em energia mecânica. A turbina Pelton é constituída basicamente de um bico injetor e de um rotor. O rotor possui várias pás em torno de sua circunferência, o jato atinge as pás a uma pressão constante a qual impulsiona a turbina (MACINTYRE, 1983).

#### 2.1.1 Bancada didática com Turbina Pelton

A bancada didática em questão é dimensionada para uma vazão de 18 m<sup>3</sup>/h, altura de 20 m que é artificialmente simulada por uma bomba hidráulica de capacidade de vazão de 25 m<sup>3</sup>/h e rotação da turbina em 500 RPM, constituída por um rotâmetro após a saída da bomba, que serve para se ter uma referência da vazão que circula pela tubulação em PVC de 50 mm, até o bico injetor da turbina onde também se tem um manômetro para verificação de pressão da linha.

Figura 1 – Bancada Didática com Turbina Pelton.



## 2.2 VAZÃO

A vazão de fluidos, ou seja, a quantidade de líquidos, gases e sólidos que passa por um determinado local por unidade de tempo é denominada vazão. Esta está presente em diversas atividades humanas. O hidrômetro de uma residência ou o marcador de uma bomba de combustível os quais são exemplos comuns no dia-a-dia das pessoas. Ainda a vazão também pode ser encontrada em uma série de aplicações industriais e científicas (OLIVEIRA p 13, 2010).

Segundo Ferreira (1999, p. 72), sobre o princípio da vazão.

Quando se toma um ponto de referência, a vazão é a quantidade do produto ou da utilidade, expressa em massa ou em volume, que passa por ele, na unidade de tempo. A unidade de vazão é a unidade de volume por unidade de tempo ou a unidade de massa por unidade de tempo.

## 2.3 MEDIÇÃO DE VAZÃO

A medição de vazão inclui no seu sentido mais amplo, a determinação da quantidade de líquidos, gases e sólidos que passa por um determinado local por

unidade de tempo. A quantidade total movimentada pode ser medida em unidades de volume (litros, mm<sup>3</sup>, cm<sup>3</sup>, m<sup>3</sup>, galões, pés cúbicos) ou em unidades de massa (g, kg, toneladas, libras). A vazão instantânea é dada por uma das unidades acima, dividida por uma unidade de tempo (litros/min, m<sup>3</sup>/hora, galões/min).

Conforme Brunetti (2008), define-se vazão em volume Q, como o volume de fluido que atravessa uma certa seção do escoamento por unidade de tempo definido pela Equação 1:

$$Q = v/t \quad (1)$$

Onde:

Q = vazão que passa por um determinado local, em m<sup>3</sup>/h;

v = volume total movimentado, em m<sup>3</sup>;

t = tempo levado para todo fluido passar por determinado local, em h.

Através de cálculos e teorias da mecânica dos fluidos consegue-se realizar o desenvolvimento de equipamentos que possibilitam obter a medição do volume de fluidos que atravessam determinadas seções. Tais equipamentos são conhecidos como medidores de vazão.

### 2.3.1 Medidores de vazão

Os medidores de vazão, ou também conhecidos por medidores de fluxo, estão presentes em diversas atividades humanas. O hidrômetro de uma residência e o marcador de uma bomba de combustível são exemplos comuns no dia-a-dia das pessoas, os medidores também podem ser encontrados em uma série de aplicações industriais e científicas tais como: a contabilização do total de bebida engarrafada em uma fábrica de refrigerantes, o controle do recebimento de gás/óleo em um gasoduto/oleoduto, o controle de vazão de turbinas de hidrelétricas e na medições da velocidade do vento em estações meteorológicas e aeroportos, esta variedade de aplicações, demonstra a necessidade do desenvolvimento dos mais diversos princípios de medição.

Portanto, a escolha do medidor dependerá do tipo de fluido, da exatidão exigida, da faixa de operação, do custo, da complexidade, da facilidade de leitura e do tempo de vida em serviço.

### 2.3.2 Classificação dos Medidores de Vazão

Segundo Ribeiro (1999), a classificação dos medidores de vazão se baseia somente no tipo do elemento primário ou no princípio físico envolvido.

O Quadro 1 mostra a classificação dos medidores de vazão conforme a Norma Regulamentadora Brasileira NBR 10396/88 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Quadro 1 – Classificação dos Medidores de Vazão segundo NBR 10396/88.

<b>Medidores volumétricos</b>	Medidores no qual o volume do fluido é determinado pelo enchimento e esvaziamento alternados de câmaras de capacidade determinada.
<b>Medidor de diafragma</b>	Medidor no qual uma parede da câmara de medição incorpora um material flexível, deslocando quantidades determinadas de volume
<b>Medidor de palheta</b>	Medidor no qual um rotor com palhetas móveis desloca quantidade determinada de volume
<b>Medidor de pistão rotativo</b>	Medidor no qual um cilindro se movimenta excentricamente, deslocando quantidade determinada de volume
<b>Medidor de pistão recíproco</b>	Medidor no qual um ou mais pistões recíprocos se deslocam em câmara de volume determinado
<b>Medidor de multirrotor</b>	Medidor no qual dois ou mais rotores giram com movimento sincronizado, deslocando quantidade determinada de volume
<b>Medidor de disco de nutação</b>	Medidor no qual um disco com movimento nutante desloca quantidade determinada de volume
<b>Medidor de rotor semi-submerso</b>	Medidor no qual o rotor, semi-submerso em líquido selante, é composto de câmaras que deslocam quantidades determinadas de volume de gás
<b>Medidores de vazão instantânea</b>	Medidores no qual o fluido passa através do elemento primário em escoamento contínuo, fornecendo uma indicação instantânea proporcional à variação da vazão.
<b>Medidor de pressão diferencial</b>	Dispositivo inserido em uma tubulação para criar uma diferença de pressão, cuja medida junto com o conhecimento das condições do fluido, da geometria do dispositivo e da tubulação permite calcular a vazão
<b>Medidor de área variável</b>	Medidor no qual a indicação da vazão é dada pela posição de equilíbrio de uma peça móvel, introduzida em um trecho de duto de seção variável
<b>Medidor de velocidade</b>	Medidor no qual a vazão é determinada pela rotação do elemento primário, provocada pelo escoamento do fluido
<b>Medidor de canal aberto</b>	Medidor no qual a vazão de um líquido é determinada a partir da variação do nível, provocada por um dispositivo
<b>Medidor de força</b>	Medidor no qual a vazão é relacionada com a força aplicada pelo fluido a um dispositivo introduzido no escoamento
<b>Medidor vórtice</b>	Medidor onde a vazão é relacionada à frequência das oscilações causadas por vórtices, provocadas pela inserção de um dispositivo na tubulação
<b>Medidor térmico</b>	Medidor que utiliza transferência de calor para o fluido como princípio de medição de vazão
<b>Medidor ultra-sônico</b>	Medidor que relaciona a vazão de um fluido com a variação de velocidade ou frequência de ondas ultra-sônicas
<b>Medidor eletromagnético</b>	Medidor no qual um fluido condutor se move perpendicularmente através de um campo magnético, induzindo uma força eletromotriz proporcional à velocidade de escoamento
<b>Medidor coriolis</b>	Medidor no qual o fluido é submetido simultaneamente a uma translação e a uma rotação, provocando uma aceleração complementar que gera uma força que depende da vazão em massa

Fonte: Adaptado de NBR 10396 (1988, p. 2).

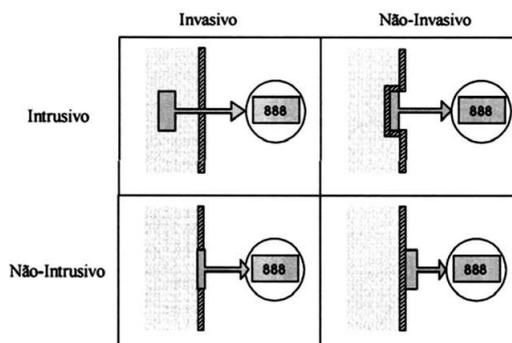
Conforme o Quadro 1, a norma classifica os medidores de vazão em dois tipos, medidores volumétricos e medidores de vazão instantânea, consultando

autores de uma década mais recente, percebe-se a utilização de diferentes classificações.

Os medidores podem ser classificados conforme Figura 2, de acordo com a perturbação que o elemento transdutor introduz na medida, Oliveira (2010).

- Transdutores **INVASIVOS**: são aqueles que têm contato e apresentam interação físico-química com o processo em que se efetua a medida.
- Transdutores **NÃO-INVASIVOS**: são aqueles que não têm contato com o processo em que se efetua a medida.
- Transdutores **INTRUSIVOS**: são aqueles que têm interação físico-química com o processo em que se efetua a medida.
- Transdutores **NÃO-INTRUSIVOS**: são aqueles que não têm interação físico-química com o processo em que se efetua a medida.

Figura 2 - Características de acordo com a perturbação.



Fonte: Oliveira (2010, p. 26).

Oliveira (2010), também mostra a distribuição dos princípios de medição mais utilizados para a grandeza vazão e sua correlação entre a característica de intrusividade e invasividade no Quadro 2:

Quadro 2 - Correlação entre a característica de intrusividade e invasividade.

	Invasivo	Não-Invasivo
Intrusivo	Deprimogênios (Bocais, Venturis, Placa de Orifício, Pitots); Deslocamento Positivo; Mássico Termal.	Mássico Coriolis
Não-Intrusivo	Eletromagnético; Mássico Termal não-intrusivo.	Ultrassom(Doppler)

Fonte: Adaptado de Oliveira (2010, p. 27).

Segundo Ribeiro (1999), existem dois tipos de medidores de vazão, medidores de quantidade e medidores volumétricos.

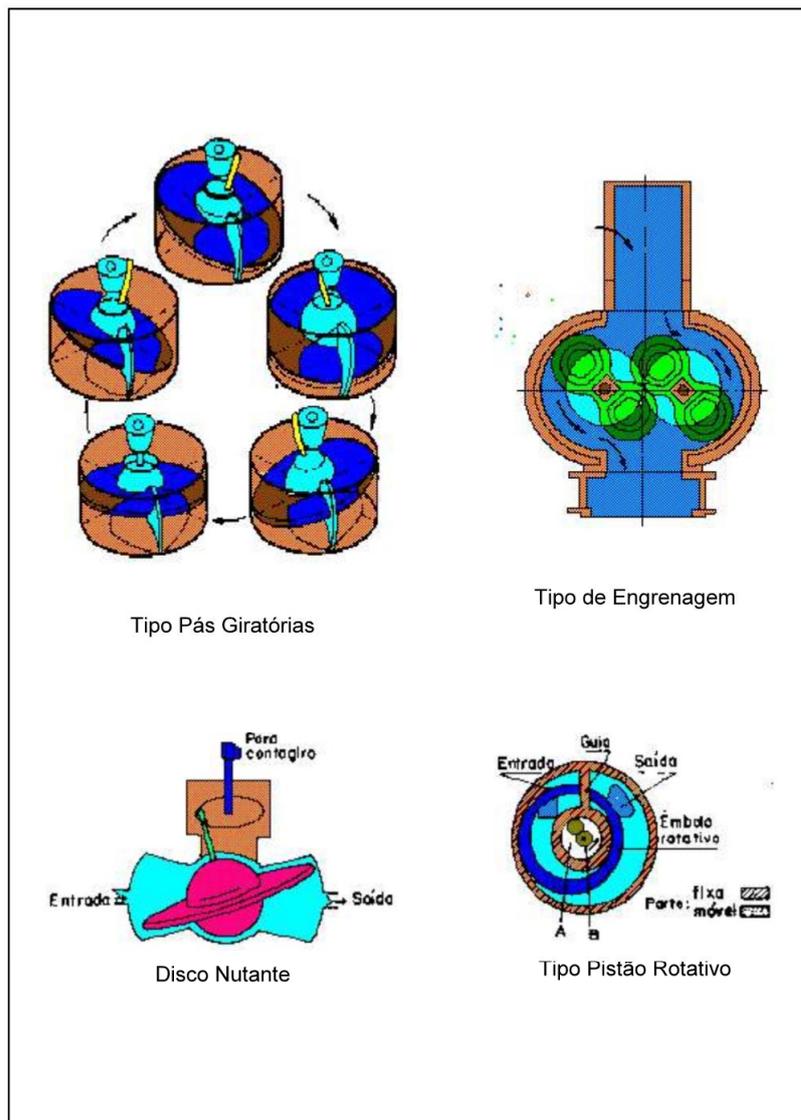
**Medidores de quantidade** segundo Ribeiro (1999), são aqueles que em qualquer instante, permitem saber que quantidade de material passou mas não a vazão do material que está passando naquele momento, mede a quantidade de material acumulada. Os medidores de quantidade ainda podem ser diferenciados por medidores de quantidade por pesagem e por quantidade volumétrica. Medidores de quantidade por pesagem são utilizados para medição de sólidos, como por exemplo, balanças industriais. Medidores de quantidade volumétrica são aqueles em que os fluidos, ao passarem por eles, acionam algum tipo de mecanismo de medição e que em qualquer instante, permitem saber que quantidade de material que está passando por unidade de tempo. São utilizados como elementos primários (Figura 4) das bombas de gasolina e dos hidrômetros (Figura 3). Exemplo: disco nutante, tipo pistão rotativo oscilante, tipo pistão alternativa, tipo pás, tipo engrenagem, etc.

Figura 3 – Imagem de um hidrômetro.



**Fonte:** Engetec (<http://www.engetecind.com.br/index.html>, 2014)

Figura 4 – Tipos de elementos primários



Fonte: Schneider, Medição de Vazão e Velocidade de Fluidos, (2011).

**Medidores volumétricos**, segundo Ferreira (1999), são aqueles que permitem saber que quantidade de material que está passando por unidade de tempo, medição que ocorre instantaneamente.

Para se determinar a vazão de medidores volumétricos pode-se seguir o conceito citado por Fox, Mcdonald e Pritchard (2006), um fluido com velocidade  $v$ , em m/s, escoando em um tubo de área transversal  $A$ , em  $m^2$ , tem a sua vazão volumétrica  $Q$ , em  $m^3/s$ , definida pela Equação 2:

$$Q = vA \quad (2)$$

Onde:

$Q$  = vazão volumétrica, em  $m^3/h$ ;

$v$  = velocidade do fluido, em m/s;

$A$  = área da seção transversal do tubo, em  $m^2$ .

**Medidores especiais**, existem alguns medidores conhecidos como especiais, medidores eletromagnéticos, ultrassom, vortex, coriolis, entre outros, porém não serão vistos na construção desta pesquisa.

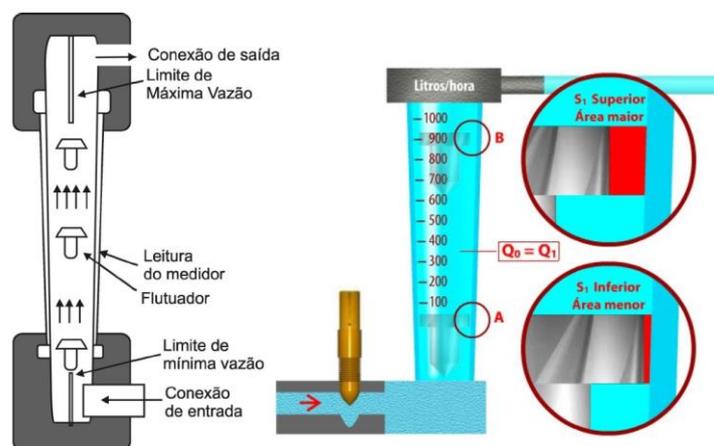
### 2.3.3 Medidor de Área Variável

Também é conhecido como rotâmetro, são medidores de vazão de área variável, onde o fluido escoar em um tubo cônico, na posição vertical, de baixo para cima, no qual há um flutuador, como pode ser observado na Figura 5. É aplicado para medição, controle e monitoração de vazão instantânea de diversos tipos de fluidos.

São instrumentos de leitura direta e não necessitam de trecho reto de tubulação para serem instalados facilitando sua utilização. Têm a vantagem de permitirem a verificação visual da condição de fluxo, podem operar com fluidos corrosivos e através da troca do flutuador é possível mudar a capacidade de fluxo. DIAS FILHO (2006, p. 9).

Os rotômetros são úteis como indicadores nos casos em que a vazão deve ser continuamente acertada para permanecer constante, pois podem ser facilmente instalados no circuito, de modo que fiquem visíveis para o operador. Esses equipamentos são usados para medir vazões líquidas e gasosas. Para fluidos gasosos, uma ampla faixa de vazões pode ser medida com esses aparelhos com exatidão de 2% do valor indicado. (CAMPOS, 1999 APUD Dias Filho J.P, Koury R. N. N., Machado L. p. 2).

Figura 5 – Elementos do rotâmetro



Fonte: Meleiro (2014).

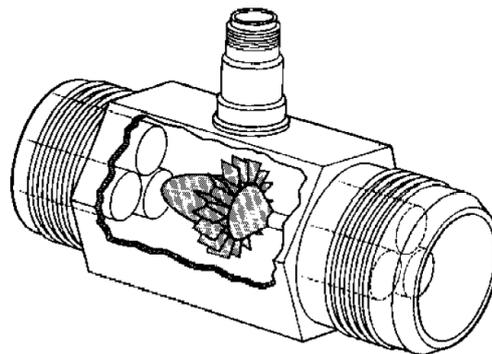
## 2.4 MEDIDORES DE VELOCIDADE

Conforme determina NBR 10396 (1988), o medidor de velocidade é o medidor no qual a vazão é determinada pela rotação do elemento primário, provocada pelo escoamento do fluido.

### 2.4.1 Medidor tipo Turbina

Este tipo de medidor se destaca pela alta precisão e repetitividade. Existe uma ampla gama de modelos disponíveis atendendo a maioria dos processos industriais. Os medidores de vazão do tipo turbina são constituídos basicamente por um rotor montado na tubulação, conforme pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 – Medidor de vazão tipo Turbina



**Fonte:** Schneider, Medição de Vazão e Velocidade de Fluidos, (2011, p.18).

Segundo Veiga, Schroeder e Roehe (2010, p. 9):

Esse rotor é provido de palhetas que o fazem girar quando algum fluido passa na tubulação do processo. Uma bobina captadora com um ímã permanente é montada externamente fora da trajetória do fluido. Quando ocorre o movimento através do tubo, o rotor gira a uma velocidade determinada pela velocidade do fluido e pelo ângulo das lâminas do rotor. À medida que cada lâmina passa diante da bobina e do ímã, ocorre uma variação da relutância (dificuldade que um material magnético oferece às linhas magnéticas. O contrário de permeância) do circuito magnético e no fluxo magnético total a que a bobina está sendo submetida. Verifica-se então a indução de um ciclo de tensão alternada.

Desta maneira a frequência dos pulsos gerados é proporcional à velocidade do fluido e a vazão pode ser determinada pela medição e/ou totalização de pulsos, e é dada através da Equação 3.

$$Q = f/K \quad (3)$$

Onde:

Q = vazão volumétrica, em m<sup>3</sup>/s;

f = frequência, em Hz, ou número de pulsos em um determinado tempo;

K = fator de mérito do medidor.

O fator de mérito (K), serve como fator de multiplicação quando se conhece o número de pulsos do medidor, para se determinar a vazão instantânea que passa por ele.

#### 2.4.2 Princípio de Funcionamento

O medidor de vazão tipo turbina prove um sinal de saída igual a um trem de pulsos com frequência linearmente proporcional à vazão do fluido. O fluido passa no interior da turbina, fazendo girar um rotor em uma velocidade angular que é proporcional à velocidade do fluido e, portanto, proporcional linearmente à vazão do fluido.

Ainda segundo Veiga, Schroeder e Roehe (2010, p. 7):

Um detector eletromagnético converte a rotação do rotor em um sinal usável, ou em um trem de pulsos escalonados ou no sinal padrão de 4 a 20 mA cc. Há turbinas cujos totalizadores ou indicadores são acionados mecânica e diretamente pela vazão. Na turbina clássica, o eixo de rotação da turbina é longitudinal ao sentido da vazão do fluido. As lâminas da turbina, de material ferromagnético, induzem o trem de pulsos, quando corta o campo magnético. Uma bobina externa com um magnético detecta o trem de pulsos.

Há também turbinas cujo rotor gira tangencialmente à vazão, com velocidade proporcional a do fluido no processo, seguindo o mesmo princípio da roda d'água. Alguns medidores que possuem o fator K, que relaciona a vazão com a grandeza física gerada. A desvantagem desta classe de medidores é a necessidade de outro medidor padrão de vazão para a sua aferição periódica. São exemplos de medidores com fator K: turbina, magnético, Vortex.

### 2.4.3 Construção do medidor

Para a construção e funcionamento da turbina devem ser considerados vários fatores, tais como: ângulo das lâminas, números de lâminas, mancais para o suporte do eixo de rotação, montagem, fixação, retificadores da vazão.

Conforme Veiga, Schroeder e Roehe (2010, p. 8):

O mancal é a parte crítica da turbina, e são eles que devem apresentar o melhor desempenho e a máxima faixa de medição. Porém, são usados apenas com fluidos lubrificantes e limpos. Os fluidos a serem medidos devem ser isentos de sujeira e não podem ser abrasivos, pois destruiriam rapidamente o rotor da turbina. Dessa forma, é normal o uso de filtro antes do local de montagem da turbina. Os mancais esféricos têm retentores metálicos ou de teflon, o que contribui na diminuição dos atritos e mantém as esferas na posição correta. A capacidade instalada da turbina deve ser cerca de 30% a 50% maior que a capacidade calculada, para diminuir a perda de carga.

## 2.5 SENSORES INDUSTRIAIS

No estudo da automação em sistemas industriais, comerciais, automobilísticos, domésticos, etc., é preciso determinar as condições e as variáveis do sistema. É necessário obter os valores das variáveis físicas do ambiente a ser monitorado, sendo este o trabalho dos sensores.

### 2.5.1 Sensor

Segundo Silva (2010), como o próprio nome sugere, sensores são dispositivos capazes de “sensorear”, monitorar, detectar algo. 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, etc.

Um sensor nem sempre tem as características elétricas necessárias para ser utilizado em um sistema de controle. Normalmente o sinal de saída deve ser manipulado antes da sua leitura no sistema de controle. Isso geralmente é realizado com um circuito de interface para produção de um sinal que possa ser lido pelo controlador.

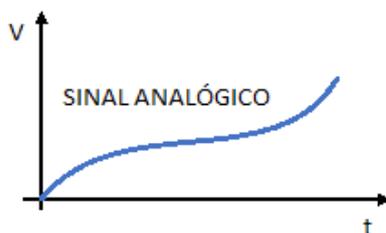
Os sensores podem ser classificados de acordo a saída do sinal, podendo esta ser analógica ou digital.

### 2.5.2 Sensores Analógicos

Esse tipo de sensor pode assumir qualquer valor no seu sinal de saída ao longo do tempo, desde que esteja dentro da sua faixa de operação. Algumas das grandezas físicas que podem assumir qualquer valor ao longo do tempo são: pressão, temperatura, velocidade, umidade, vazão, força, ângulo, distância, torque, luminosidade. Essas variáveis são mensuradas por elementos sensíveis com circuitos eletrônicos não digitais, Silva (2010).

Também segundo Silva (2010), sensores analógicos fornecem informações em forma de um sinal elétrico proporcional à grandeza medida.

Figura 07 - Variação de tensão de forma analógica.

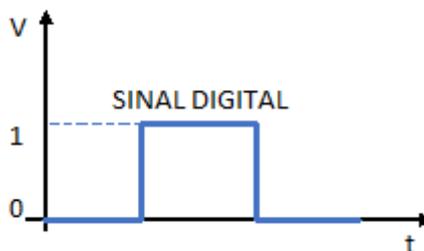


### 2.5.3 Sensores Digitais

Esse tipo de sensor pode assumir apenas dois valores no seu sinal de saída ao longo do tempo, que podem ser interpretados como zero ou um. Não existem naturalmente grandezas físicas que assumam esses valores, mas eles são assim mostrados ao sistema de controle após serem convertidos pelo circuito eletrônico do transdutor. É utilizado, por exemplo, em detecção de passagem de objetos, encoders na determinação de distância ou velocidade, etc.

Segundo Silva (2010), sensores digitais fornecem informações em forma de pulsos elétricos “0” ou “1” não há um valor intermediário.

Figura 08 - Variação da posição de um objeto lida por um sensor digital.



Podem ser encontrados com diversos princípios de detecção, mecânico, magnéticos, indutivos, capacitivos, ópticos, ultra-sônicos, pressão, etc.

- **Sensores indutivos**

São os mais comuns usados na indústria, baseiam-se na variação da indutância do campo eletro magnético gerado pela bobina quando objetos metálicos são aproximados da face sensora, portanto detectam apenas materiais ferrosos.

Segundo SANTOS (2011, p.28):

O sensor indutivo trabalha pelo princípio da indução eletromagnética. Funciona de maneira similar aos enrolamentos primários e secundários de um transformador. O sensor tem um oscilador e uma bobina; juntos produzem um campo magnético fraco. Quando um objeto entra no campo, pequenas correntes são induzidas na superfície do objeto. Por causa da interferência com o campo magnético, energia é extraída do circuito oscilador do sensor, diminuindo a amplitude da oscilação e causando uma queda de tensão (voltagem). O circuito de detecção do sensor percebe a queda de tensão do circuito do oscilador e responde mudando o estado do sensor.

Podem ser encontrados no mercado em tensão contínua, alternada ou universal. Sensores mais usuais em tensão contínua operam na faixa de 10 à 30 VCC, em tensão alternada operam na faixa de 90 à 265 VCA e os sensores universais podem operar tanto com tensão contínua quanto alternada na faixa de 12 à 250 Volts.

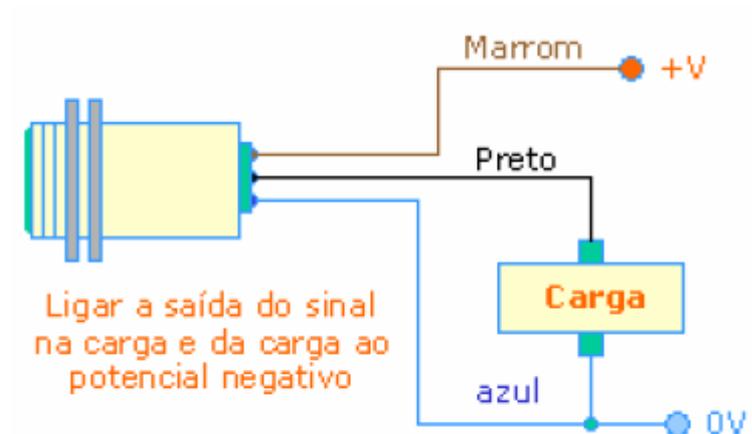
Eles ainda podem ser encontrados como PNP e NPN:

- **Sensores PNP**

Segundo Silva (2010), são utilizados para comutar a carga ao potencial negativo, o módulo de saída possui um transistor PNP que conecta a carga à terra (0

Volt). A carga é conectada entre a saída do sensor e a tensão de funcionamento negativo (0 Volt), conforme apresenta Figura 9.

Figura 9 - Esquema de ligação sensor PNP

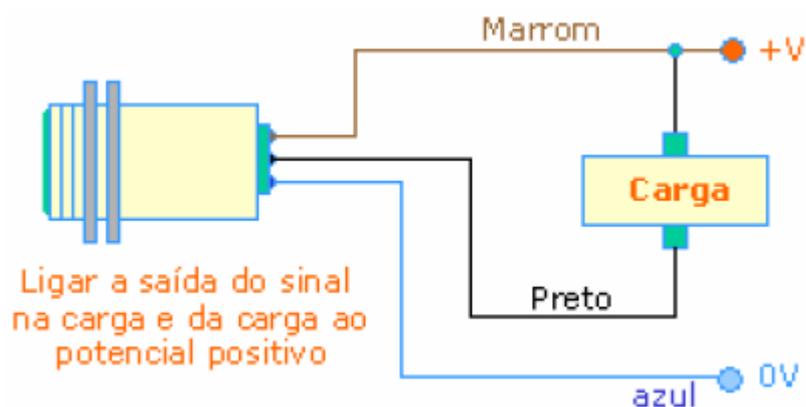


Fonte: Adaptado de Silva, Sensores Industriais (2010, p. 2).

- **Sensores NPN**

Segundo Silva (2010), são utilizados para comutar a carga ao potencial positivo, o módulo de saída possui um transistor NPN que conecta a carga à terra (0 Volt). A carga é conectada entre a saída do sensor e a tensão de funcionamento positiva (VCC), conforme apresenta Figura 10.

Figura 10 - Esquema de ligação sensor PNP



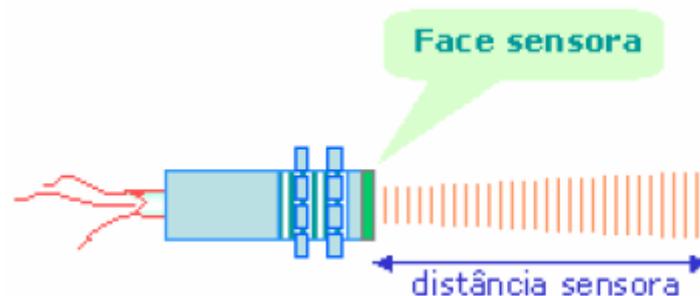
Fonte: Adaptado de Silva, Sensores Industriais (2010, p. 3).

- **Distância e Face Sensora**

A distância, significa a distância entre a face sensora e o objeto a ser detectado e a face sensora é o lado do sensor que detecta o objeto, Silva (2010).

Pode ser representada pela Figura 11.

Figura 11 – Representação da face sensora e a distância de detecção do sensor.



**Fonte:** Silva, Sensores Industriais (2010, p. 3).

Os sensores podem ser integrados a logicas de CLP ou comandos industriais desde que respeitadas suas condições de alimentação e limitação de corrente elétrica.

## 2.6 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL - CLP

Os Controladores Lógicos Programáveis ou CLPs são equipamentos eletrônicos utilizados em sistemas de automação flexível. Segundo Silva Filho (2010, p.1) sobre os CLPs:

São ferramentas de trabalho muito úteis e versáteis para aplicações em sistemas de acionamentos e controle, e por isso são utilizados em grande escala no mercado industrial. Permitem desenvolver e alterar facilmente a lógica para acionamento das saídas em função das entradas. Desta forma, pode-se associar diversos sinais de entrada para controlar diversos atuadores ligados nos pontos de saída.

No mercado atual, os profissionais buscam conhecimentos para tornar suas atividades mais práticas, adequando-se às necessidades das empresas, atendendo as necessidades atuais de aumento de produtividade, flexibilidade e redução de custos.

Para realizar a leitura e indicação dos sinais digitais do sensor aplicado no medidor de vazão, foi utilizado um pequeno controlador inteligente, Clic02 da empresa fabricante WEG.

### 2.6.1 CLIC-02 da WEG

O CLIC-02 apresentado na Figura 12, é um CLP pequeno e inteligente contendo até 44 pontos de entradas e saídas, possui programa gráfico em ladder e diagrama de blocos, é aplicável a operações automática de pequena escala. O CLIC-02 é expansível em até 3 grupos de módulo de 4 entradas e 4 saídas. Possui um display LCD 12 x 4 embutido para programação local e acompanhamento em tempo real do funcionamento do programa. Foi desenvolvido para se economizar consideravelmente tempo e custo na operação mas não possibilita a integração com Sistemas de Aquisição de Dados ou Supervisórios, WEG (2006).

Figura 12 – CLP CLIC-02/WEG.



Para sua programação o fabricante disponibiliza o Software Clic02 Edit, onde pode-se desenvolver o programa com as lógicas de funcionamento de entradas e saídas que o controlador dispõe em linguagens específicas de programação.

Com isso, pode-se aplicar alguns conceitos apresentados na revisão da literatura e construir o medidor de vazão tipo turbina.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Após identificação dos objetivos deste trabalho, iniciou-se a coleta de dados para a construção do medidor vazão, inicialmente foram coletados dados do trabalho que propusera o desenvolvimento da turbina hidráulica e dados nas instalações físicas da turbina na bancada didática.

Dados observados para construção do medidor de vazão:

- Fluido da aplicação: Água
- Vazão nominal da Turbina: 18m<sup>3</sup>/h
- Vazão nominal da Bomba Hidráulica: 25m<sup>3</sup>/h
- Tipo de tubulação: Soldável e com rosca em PVC
- Diâmetro da Tubulação: DN50, diâmetro 50 mm

Após a coleta de dados iniciou-se a revisão e coleta de materiais para o trabalho proposto, definiu-se então pela disponibilidade de materiais para construção do medidor de vazão o tipo de medidor a ser usado e o sensor para contagem dos pulsos gerado pelo fluxo de água.

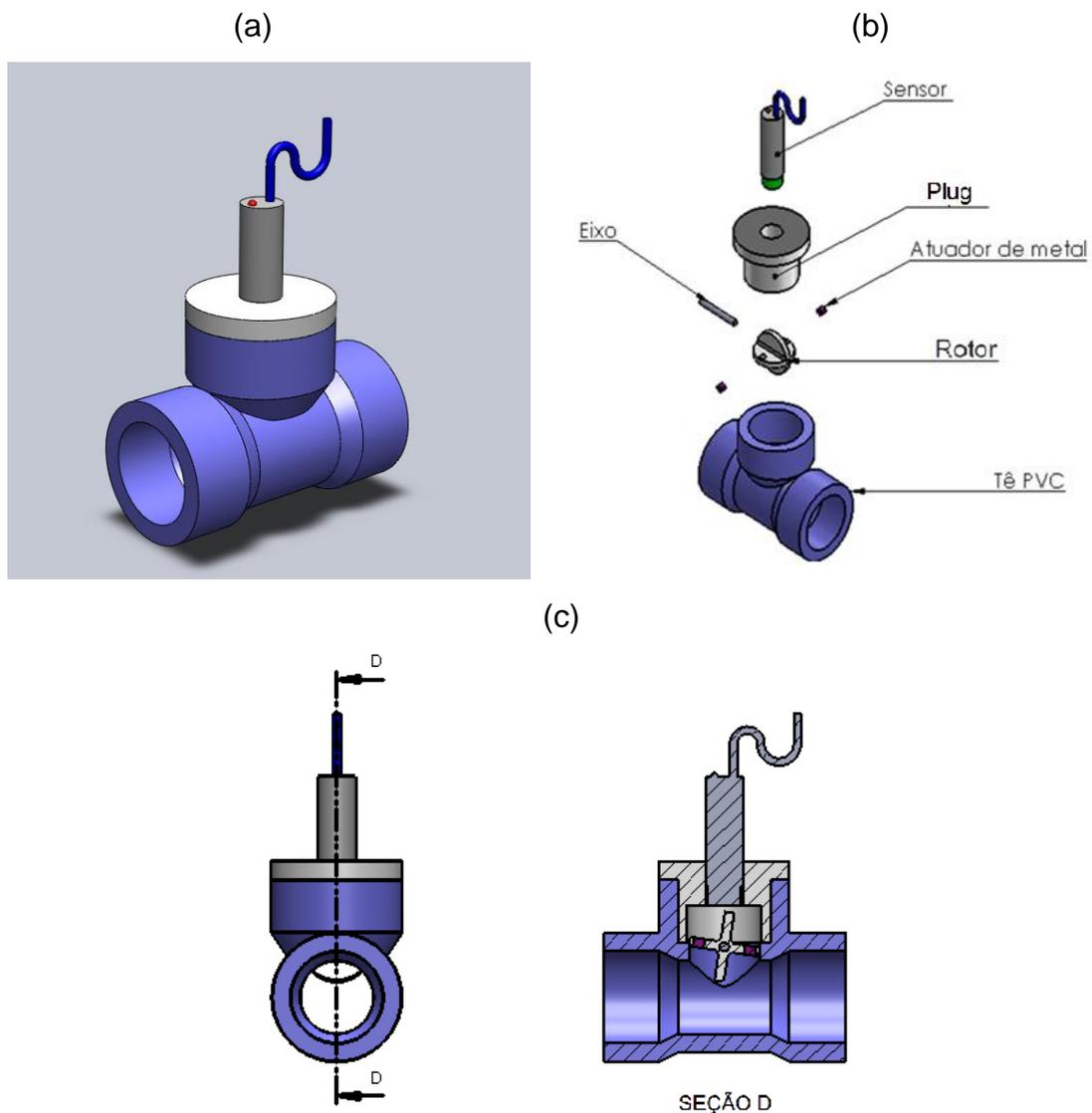
Conforme determina NBR 10396 (1988), o medidor de velocidade é o medidor no qual a vazão é determinada pela rotação do elemento primário, provocada pelo escoamento do fluido. Como este princípio caracteriza o medidor de vazão deste trabalho, pode-se chama-lo também de medidor de velocidade tipo turbina ou roda d'água, pois sua característica construtiva segue o princípio de girar as pás do rotor a uma velocidade angular e também girar o rotor tangencialmente à vazão.

O sensor a ser usado é um sensor Digital, pois segundo Silva (2010), fornece informações de sinais de "0" ou "1", Indutivo, para a detecção de materiais ferrosos, devido a fixação de um metal em duas das quatro pás do rotor, tipo PNP pois já há a disponibilidade do sensor sem custo para aplicação na construção do medidor de vazão e também o CLP capta os dois tipos de sinal, PNP e NPN, possuem tensão de alimentação 24VDC, compatível com o CLP, distância de alcance de 8 mm e range de frequência de 200Hz, conforme anexo B (manual do sensor).

Já com as informações coletadas analisadas e alguns componentes já definidos, iniciou-se o dimensionamento básico dos componentes do medidor, junto a isso, foram adquiridos alguns componentes da linha hidráulica predial de água fria, em PVC, um Tê roscável 2" e um Plug roscável 2", conforme anexo C (catálogo Tigre), facilitando no modelamento computacional 3D e na realização da montagem completa do medidor por meio do software de desenho SolidWorks.

A Figura 13 (a) mostra um desenho esquemático do medidor de vazão em modelamento 3D, já com todos seus componentes montados. A Figura 13 (b) apresenta uma vista explodida do medidor de vazão e a Figura 13 (c) uma vista em corte.

Figura 13 – Modelagem computacional 3D do Medidor de Vazão, vista explodida e em corte.

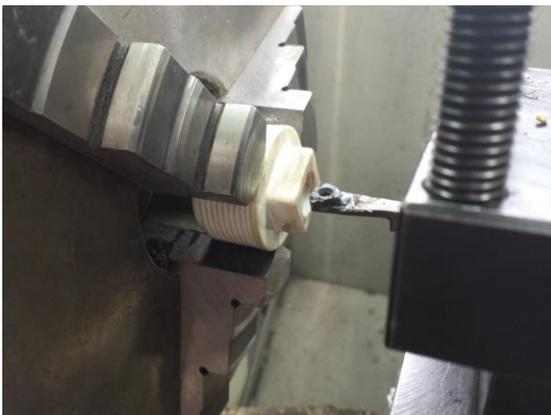


Após o modelamento e a montagem em software, foi realizada a fabricação do medidor, onde um dos componentes do medidor, o rotor, foi impresso em impressora 3D.

Foi necessário para adaptação das peças em PVC, dois processos de usinagem, Torneamento conforme Figura 14(a) e furação em Fresa conforme Figura 14 (b), o plug roscável precisou ser torneado para o sensor ser roscado em seu corpo, já o Tê roscável precisou ser furado em fresa para precisão na colocação do eixo do rotor no sentido transversal ao fluxo, o furo não é passante nas duas paredes do Te, somente um de seus lados é passante, onde este recebeu uma rosca para fixação de um parafuso allen M5 com uma porca de ajuste, sem cabeça, que serve de encosto e vedação do eixo do rotor.

Figura 14 – Fabricação do medidor de vazão, torneamento e furação em fresa.

(a)



(b)



Para possibilitar a montagem do medidor de vazão, fez se necessário a remodelagem da canalização em PVC da bancada, conforme apresenta Figuras 15 (a) e (b), permitindo instalação do medidor após o rotâmetro e em serie com a bomba e com um sistema de *by-pass* para possibilitar sua anulação em caso de modificações ou manutenção do equipamento desenvolvido.

Figura 15 – Remodelagem da canalização, antes (a) e depois (b) da remodelagem.

(a)



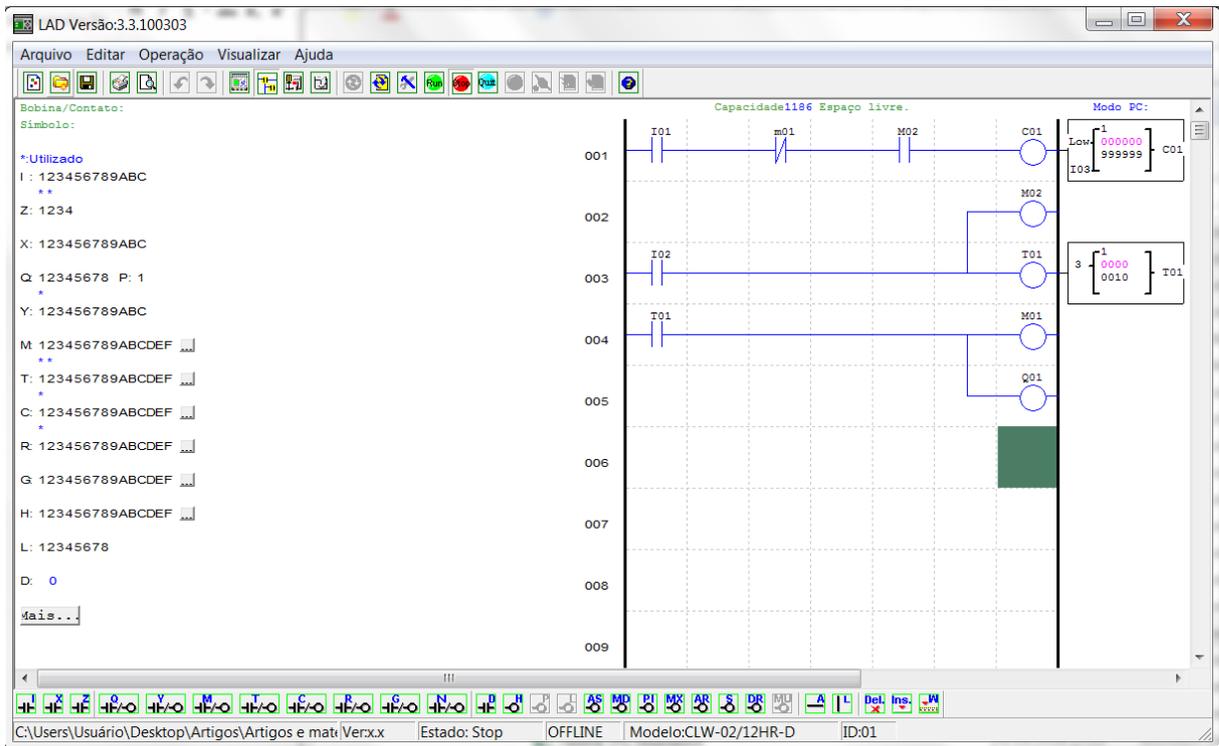
(b)



Com o medidor de vazão já posicionado na canalização, foram realizados alguns testes na linha para identificação de possíveis vazamentos.

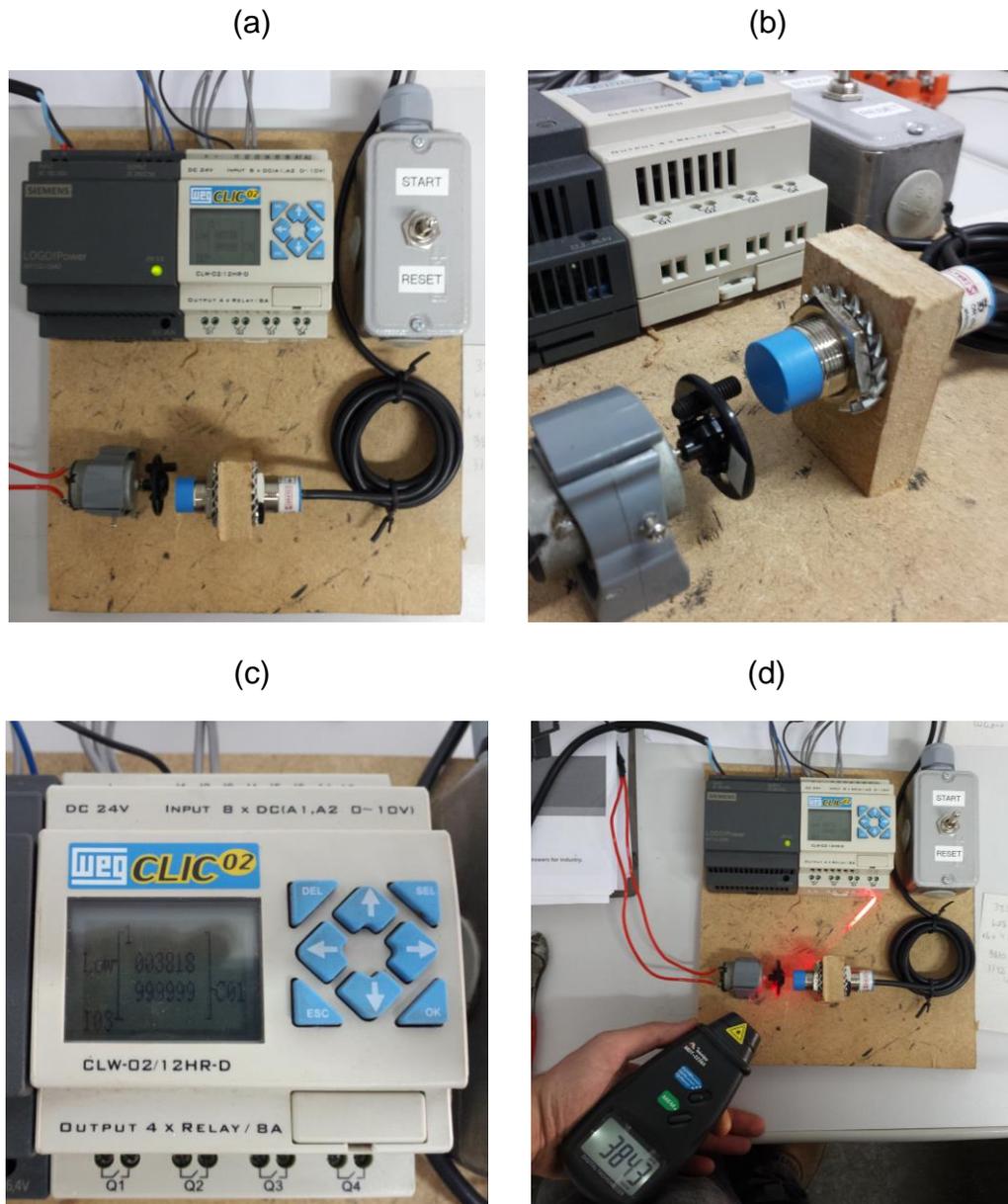
Para o sistema de contagem de pulsos foi usado uma fonte de tensão 24VDC, um CLP Clic-02 da WEG e um sistema de botões, responsáveis pelo início e reset da contagem dos pulsos, em uma placa de madeira MDF para agrupamento do conjunto de componentes. O CLP possibilita o uso de um software para desenvolvimento e testes do programa a ser carregado, pode também ser transferido ao CLP via cabo específico de programação, a Figura 16 mostra a programação desenvolvida em software.

Figura 16 – Programa desenvolvido no Software Clic02 Edit.



Antes do teste do sistema de contagem de pulsos diretamente no medidor de vazão, foi desenvolvido um sistema para teste e validação desta contagem. Aplicou-se o sensor para identificação da rotação de um motor DC. Um parafuso allen sem cabeça foi instalado na polia do motor e o sensor foi posicionado à frente da polia dentro da distância sensora do sensor, o motor foi ligado, logo após foi ativado o contador de pulsos com um tempo de leitura de 60 segundos, no fim deste tempo obteve-se o número de rotações, em RPM. Para comprovar o valor obtido pelo contador, durante a contagem dos pulsos a mesma leitura foi realizada por um Foto Tacômetro Digital, equipamento específico para leitura de RPM. A Figura 17 (a) mostra o sistema utilizado para teste e validação do contador de pulsos, a Figura 17 (b) mostra o detalhe da instalação do sensor, onde observa-se o parafuso fixado na polia do motor DC, próximo da face sensora do sensor indutivo, a Figura 17 (c) mostra o valor obtido pelo contador de pulsos em RPM e a Figura 17 (d) mostra o valor em RPM lido com o Foto Tacômetro durante o mesmo período de monitoramento.

Figura 17 – Sistema para teste e validação do contador de pulsos.



Constatou-se no sistema de testes e validação do contador de pulsos e o Foto Tacômetro uma diferença inferior à 1% no valor da medição, permitindo aplicar o sistema de contagem de pulsos junto ao medidor de vazão.

A Figura 18 apresenta o medidor de vazão desenvolvido e o rotâmetro instalados na canalização da bancada didática, os dois equipamentos estão associados em série um com o outro, para que flua em seus interiores a mesma vazão de líquido, também na mesma figura é possível observar a presença do sistema de *bypass*, que deve permanecer fechado durante as medições de vazão.

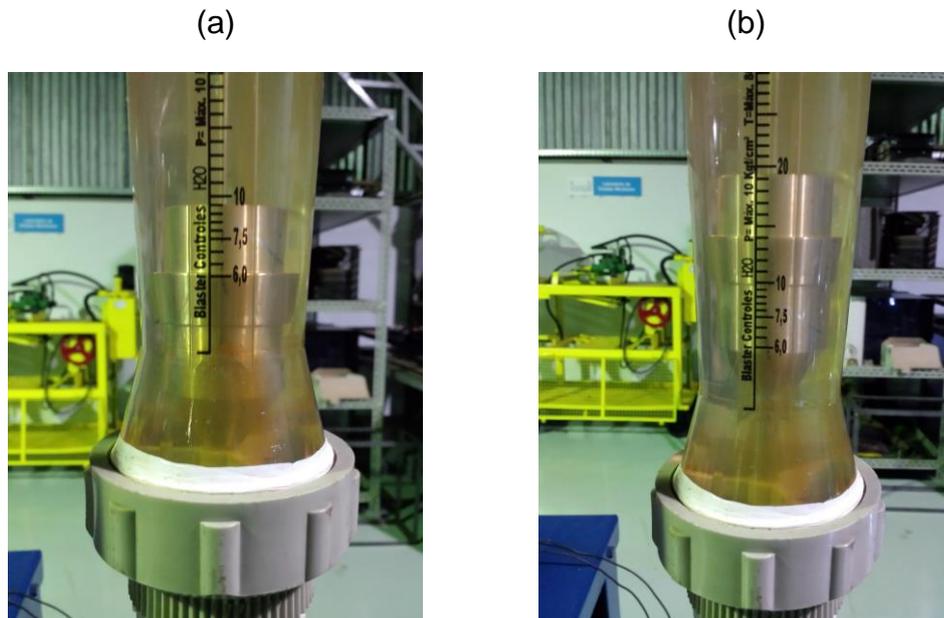
Figura 18 – Instalação do medidor de vazão na canalização da bancada didática.



Com o medidor de vazão tipo turbina instalado na bancada didática, ajusta-se o contador de pulsos para realizar a contagem durante 10 segundos, liga-se a bomba hidráulica e aguarda-se a estabilização do fluxo, ajusta-se a vazão no rotâmetro por um registro instalado em série com o mesmo, ativa-se o sistema de contagem, após o tempo ajustado, realiza-se a coleta de informações referentes ao número de pulsos e a vazão indicada no rotâmetro, para uma nova coleta de dados, basta apenas um novo ajuste no registro e um *reset* no sistema de contagem de pulsos.

As leituras foram realizadas de acordo com capacidade mínima do rotâmetro de  $6 \text{ m}^3/\text{h}$  conforme mostra Figura 19 (a) e a capacidade máxima da bomba de  $14 \text{ m}^3/\text{h}$  que não atingiu a capacidade máxima do rotâmetro conforme mostra Figura 19 (b), a cada valor de vazão ajustado no rotâmetro, foram realizadas cinco coletas sequenciais do número de pulsos totalizado no contador.

Figura 19 – Regulagens de vazão no rotâmetro.



Conhecida a vazão e o número de pulsos durante o tempo ajustado, pode-se determinar a frequência, número de pulsos por segundo.

Aplica-se os valores coletados em uma planilha do programa computadorizado Excel, onde gera-se um gráfico de dispersão com os dados de vazão e número de pulsos por segundo, incrementa-se uma linha de tendência e partir de uma análise de regressão estatística, pode-se determinar uma equação linear para encontrar o fator de mérito do medidor tipo turbina e o valor do quadrado do coeficiente de regressão ( $R^2$ ), que permite avaliar o grau de adequação do modelo a curva encontrada, ou seja, o quanto os valores adquiridos pelo medidor de vazão tipo turbina estão próximos dos valores indicados pelo rotâmetro, quanto mais próximo de “1”, mais são parecidas as leituras de vazão entre eles.

Aplica-se os valores de coletas de frequência na equação encontrada na análise de regressão estatística para demonstrar os valores de vazão do medidor tipo turbina obtidos partir dela.

Com o fator de mérito para cálculo da vazão definido, aplica-se a Equação 6 para todas as frequências coletadas durante os testes e se obtém os valores de vazão indicados pelo medidor tipo turbina, apresentando as diferenças entre as medições do rotâmetro e o medidor tipo turbina.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Figura 20 mostra o medidor de vazão construído, para medições de vazão da turbina Pelton em bancada didática. Este medidor é do tipo turbina, possui um sensor indutivo para detecção dos pulsos gerados pelo rotor, para identificação da vazão que flui pelo medidor, utiliza-se o CLP Clic – 02, onde o mesmo monitora e indica os pulsos de acordo com a necessidade de quem opera o sistema.

Figura 20 – Medidor de vazão desenvolvido.



Os dados foram adquiridos experimentalmente e processados em uma planilha Excel conforme Quadro 3.

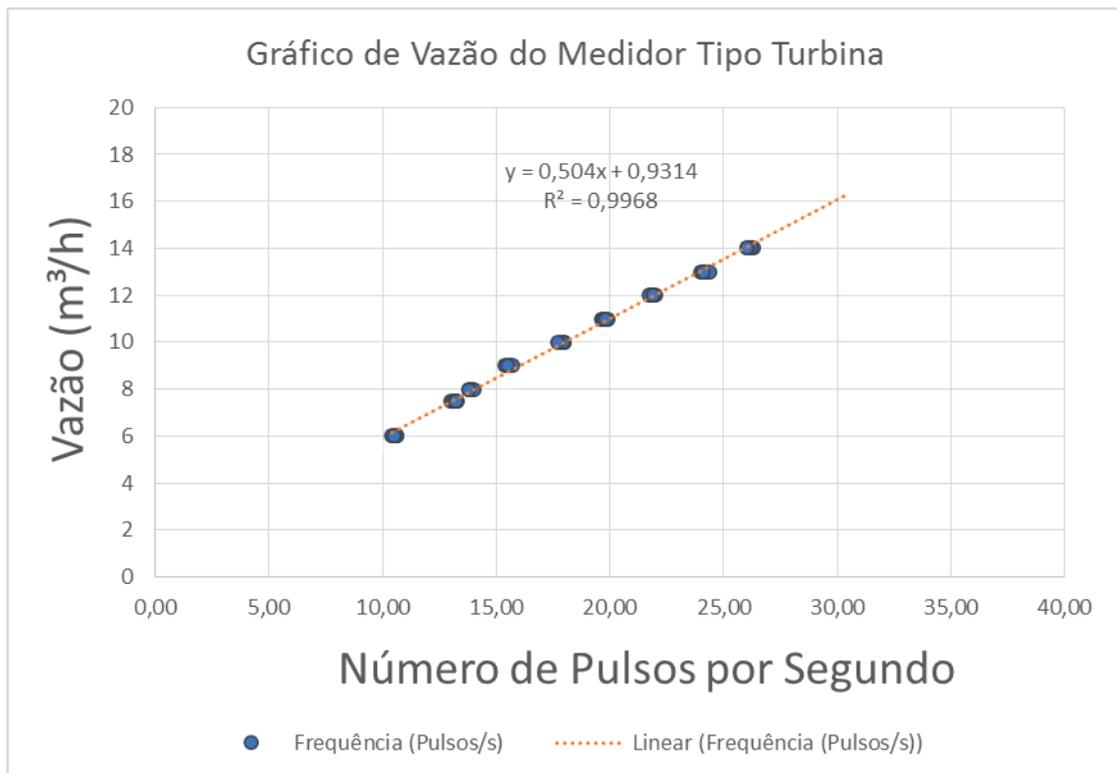
Quadro 3 – Dados adquiridos.

DADOS ADQUIRIDOS												
	ROTÂMETRO		CONTADOR		ROTÂMETRO		CONTADOR		ROTÂMETRO		CONTADOR	
	Vazão (m³/h)	Vazão (m³/s)	Pulsos em 10 s	Frequência (Pulsos/s)	Vazão (m³/h)	Vazão (m³/s)	Pulsos em 10 s	Frequência (Pulsos/s)	Vazão (m³/h)	Vazão (m³/s)	Pulsos em 10 s	Frequência (Pulsos/s)
1	6	0,00167	106	10,60	9	0,00250	156	15,60	12	0,00333	220	22,00
2	6	0,00167	106	10,60	9	0,00250	154	15,40	12	0,00333	219	21,90
3	6	0,00167	105	10,50	9	0,00250	156	15,60	12	0,00333	218	21,80
4	6	0,00167	104	10,40	9	0,00250	157	15,70	12	0,00333	217	21,70
5	6	0,00167	105	10,50	9	0,00250	155	15,50	12	0,00333	219	21,90
1	7,5	0,00208	133	13,30	10	0,00278	180	18,00	13	0,00361	242	24,20
2	7,5	0,00208	130	13,00	10	0,00278	180	18,00	13	0,00361	240	24,00
3	7,5	0,00208	131	13,10	10	0,00278	178	17,80	13	0,00361	241	24,10
4	7,5	0,00208	132	13,20	10	0,00278	179	17,90	13	0,00361	244	24,40
5	7,5	0,00208	132	13,20	10	0,00278	177	17,70	13	0,00361	241	24,10
1	8	0,00222	139	13,90	11	0,00306	196	19,60	14	0,00389	262	26,20
2	8	0,00222	139	13,90	11	0,00306	197	19,70	14	0,00389	263	26,30
3	8	0,00222	138	13,80	11	0,00306	198	19,80	14	0,00389	262	26,20
4	8	0,00222	140	14,00	11	0,00306	199	19,90	14	0,00389	260	26,00
5	8	0,00222	138	13,80	11	0,00306	198	19,80	14	0,00389	260	26,00

A vazão disponibilizada pelo sistema não atingiu a vazão de 18 m<sup>3</sup>/h especificada no projeto da turbina Pelton, portando as medições estão entre 6 m<sup>3</sup>/h e 14m<sup>3</sup>/h.

Conforme Figura 21, o medidor tipo turbina apresentou resposta que permite fazer uma análise de regressão estatística gerando uma equação linear.

Figura 21 – Gráfico da vazão em função do número de pulsos.



O gráfico de dispersão com linha de tendência, apresenta a análise de regressão com a curva da equação linear conforme a Equação 4 e o valor do quadrado do coeficiente de regressão ( $R^2$ ).

$$y = 0,504x + 0,9314 \quad (4)$$

Onde 'y' é a vazão e 'x' é a frequência de pulsos.

Aplicando a Equação 4, obtida pela análise de regressão para todas as frequências coletadas durante os testes, se obtém os valores de vazão indicados pelo medidor tipo turbina conforme Quadro 4.

Quadro 4 – Resultados de vazão obtidos pela análise de regressão.

	RESULTADOS DE MEDIÇÃO											
	Vazão (m³/h)	Frequência (Pulsos/s)	MEDIDOR TIPO TURBINA		Vazão (m³/h)	Frequência (Pulsos/s)	MEDIDOR TIPO TURBINA		Vazão (m³/h)	Frequência (Pulsos/s)	MEDIDOR TIPO TURBINA	
			Vazão (m³/h)	Fator de Mérito			Vazão (m³/h)	Fator de Mérito			Vazão (m³/h)	Fator de Mérito
1	6	10,6	6,27	1,69	9	15,6	8,79	1,77	12	22,0	12,02	1,83
2	6	10,6	6,27	1,69	9	15,4	8,69	1,77	12	21,9	11,97	1,83
3	6	10,5	6,22	1,69	9	15,6	8,79	1,77	12	21,8	11,92	1,83
4	6	10,4	6,17	1,68	9	15,7	8,84	1,78	12	21,7	11,87	1,83
5	6	10,5	6,22	1,69	9	15,5	8,74	1,77	12	21,9	11,97	1,83
1	7,5	13,3	7,63	1,74	10	18,0	10,00	1,80	13	24,2	13,13	1,84
2	7,5	13,0	7,48	1,74	10	18,0	10,00	1,80	13	24,0	13,03	1,84
3	7,5	13,1	7,53	1,74	10	17,8	9,90	1,80	13	24,1	13,08	1,84
4	7,5	13,2	7,58	1,74	10	17,9	9,95	1,80	13	24,4	13,23	1,84
5	7,5	13,2	7,58	1,74	10	17,7	9,85	1,80	13	24,1	13,08	1,84
1	8	13,9	7,94	1,75	11	19,6	10,81	1,81	14	26,2	14,14	1,85
2	8	13,9	7,94	1,75	11	19,7	10,86	1,81	14	26,3	14,19	1,85
3	8	13,8	7,89	1,75	11	19,8	10,91	1,81	14	26,2	14,14	1,85
4	8	14,0	7,99	1,75	11	19,9	10,96	1,82	14	26,0	14,04	1,85
5	8	13,8	7,89	1,75	11	19,8	10,91	1,81	14	26,0	14,04	1,85

Na Equação 4, substituindo 'x' por K e 'y' pela equação característica do medidor, a Equação 3, obtêm-se o fator de mérito do medidor tipo turbina conforme Equação 5.

$$f/K = 0,504f + 0,9314 \quad (5)$$

$$K = 1,848$$

Substituindo K pelo fator de mérito da turbina chega-se à equação de vazão em relação à frequência de pulsos, conforme apresenta Equação 6.

$$Q = f/1,848 \quad (6)$$

Com a equação padrão para cálculo da vazão deste medidor definida, aplica-se a Equação 6 para todas as frequências coletadas durante os testes e se obtêm os valores de vazão indicados pelo medidor tipo turbina conforme Quadro 5.

Quadro 5 – Resultados de vazão obtidos através da Equação 6.

	RESULTADOS DE MEDIÇÃO											
	Vazão (m³/h)	Frequência (Pulsos/s)	MEDIDOR TIPO TURBINA		Vazão (m³/h)	Frequência (Pulsos/s)	MEDIDOR TIPO TURBINA		Vazão (m³/h)	Frequência (Pulsos/s)	MEDIDOR TIPO TURBINA	
			Fator de Mérito	Vazão (m³/h)			Fator de Mérito	Vazão (m³/h)			Fator de Mérito	Vazão (m³/h)
1	6	10,6	1,848	5,74	9	15,6	1,848	8,44	12	22,0	1,848	11,90
2	6	10,6		5,74	9	15,4		8,33	12	21,9		11,85
3	6	10,5		5,68	9	15,6		8,44	12	21,8		11,80
4	6	10,4		5,63	9	15,7		8,50	12	21,7		11,74
5	6	10,5		5,68	9	15,5		8,39	12	21,9		11,85
1	7,5	13,3	1,848	7,20	10	18,0	1,848	9,74	13	24,2	1,848	13,10
2	7,5	13,0		7,03	10	18,0		9,74	13	24,0		12,99
3	7,5	13,1		7,09	10	17,8		9,63	13	24,1		13,04
4	7,5	13,2		7,14	10	17,9		9,69	13	24,4		13,20
5	7,5	13,2		7,14	10	17,7		9,58	13	24,1		13,04
1	8	13,9	1,848	7,52	11	19,6	1,848	10,61	14	26,2	1,848	14,18
2	8	13,9		7,52	11	19,7		10,66	14	26,3		14,23
3	8	13,8		7,47	11	19,8		10,71	14	26,2		14,18
4	8	14,0		7,58	11	19,9		10,77	14	26,0		14,07
5	8	13,8		7,47	11	19,8		10,71	14	26,0		14,07

Percebe-se que através da regressão estatística, que gerou a Equação 4, para obtenção da vazão do medidor tipo turbina pela frequência de pulsos, obtêm-se valores mais próximos dos valores medidos pelo rotâmetro.

Já a Equação 3, que resultou na Equação 6, determinada para cálculos de vazão para este medidor desenvolvido, apresentou valores mais parecidos com o rotâmetro em vazões mais elevadas aplicadas no experimento.

Recomenda-se o uso da Equação 4 para determinação da vazão com este medidor tipo turbina.

## 5 CONCLUSÕES

A construção e testes do medidor de vazão tipo turbina foram realizados conforme o esperado, mas não foi possível realizar medições na faixa de vazão necessária para a turbina, pois o sistema de bombeamento hidráulico não proporcionou a vazão de 18m<sup>3</sup>/h, sendo possível somente medições até 14m<sup>3</sup>/h. Como o sensor especificado atende uma frequência de 200Hz e a análise dos dados apresentou uma frequência máxima de 26Hz na vazão de 14m<sup>3</sup>/h, entende-se então que é possível realizar medições superiores a vazão proporcionada pelo sistema de bombeamento da Turbina Pelton.

Os resultados de medição de vazão obtidos pelo medidor desenvolvido, ficaram entre 6 e 14 m<sup>3</sup>/h e apresentaram-se muito próximos dos valores medidos pelo rotâmetro (valores de referência) conforme apresentados nos Quadros 4 e 5.

O sistema de leitura de vazão do equipamento desenvolvido possibilita conferir a vazão a partir da quantidade de pulsos medida, podendo ser através do gráfico apresentado na Figura 21 ou das Equações 4 e 6, mas recomenda-se o uso da Equação 4 para determinação da vazão para o medidor desenvolvido neste trabalho.

Por fim, conclui-se que os objetivos propostos neste trabalho foram atendidos e que é possível construir um medidor de vazão empregando-se técnicas de fabricação e montagem relativamente simples, juntamente com a utilização de materiais de fácil aquisição no mercado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, NBR 10396. **Medidores de Vazão de Fluidos (classificação)**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Brasil, 1998.

BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos fluidos**. 2 ed. revisada. São Paulo: Pearson, 2008.

CAMPOS, Alessandro Torres; CAMPOS, Aloísio Torres. Medidor de Fluxo de Ar de Baixo Custo. **Ciência e Agrotecnia**. Lavras, v 23, nº02, p. 372a 376, abril/junho, 1999.

CARNEIRO, Daniel Araújo; Portal PCH – **Pequenas Centrais Hidroelétricas**. Disponível em ([www.portalpch.com.br](http://www.portalpch.com.br)). Acessado em Outubro de 2010.

DIAS FILHO, José Pedro. **Metodologia Para Calibração De Rotâmetro De Água Operando Com O Fluido R134a**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2006.

FERREIRA, Fabio Rodrigues. **Vazão e os Instrumentos de Medição**. [Artigo científico] Universidade do Vale do Rio Doce – UNIVALE Faculdade de Engenharia de Produção – FAENG Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgIJAAK/vazao-os-instrumentos-medicao?part=3>> Acesso 20 out. 2014.

FOX, R. W.; MCDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 6. ed. Rio Janeiro: LTC, 2006.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Máquinas Motrizes Hidráulicas**. Rio de Janeiro: Guanabara AS, 1983.

MELEIRO, Luiz Augusto. **Medidores de Vazão**. Imagem em material de aula. 2014. Disponível em: <[Medidores%20de%20Vazao/pdf](#)> Acesso 20 out. 2014.

OLIVEIRA, Marcos Antônio Andrade de. **Desenvolvimento de um medidor de vazão termal inteligente**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica) Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

RIBEIRO, Marco Antônio. **Medição de Vazão - Fundamentos e Aplicações**. 5. ed. Salvador: Tek Treinamento & Consultoria Ltda., 1999.

SANTOS, Paulo Vitor de Freitas. **Desenvolvimento de Uma Bancada de Testes Para Motores de Aeromodelos**. 2011. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, junho 2011.

SCHNEIDER, Paulo Smith. **Apostila de Medição de Velocidade e Vazão de Fluidos**. Porto Alegre: UFRGS (2011).

SILVA FILHO, Bernardo Severo da. **Curso de Controladores Lógicos Programáveis -** Universidade do Estado do Rio de Janeiro, LEE – Laboratório de Engenharia Elétrica. Rio de Janeiro. 2010. Disponível em: <<http://www.lee.eng.uerj.br/downloads/cursos/clp/clp.pdf>> Acesso 3 nov. 2014.

SILVA, Clodoaldo. **Sensores industriais**. 2010. Disponível em: <<http://www.clubeda-eletronica.com.br/Automacao/PDF/Apoio%20001%20-%20Sensores%20industriais.pdf>> 20 out. 2014.

WEG. **Manual do Micro Controlador WEG CLIC-02**. 2006.

VEIGA, Bruno Heerdt; SCHROEDER, Diego; ROEHE, Marcos Ruschel. **Construção e Operação de um Medidor de Vazão Volumétrica de Líquidos do Tipo Turbina**. 2010. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <[http://www.ufrgs.br/medterm/trabalhos/trabalhos-2011/Bruno\\_Diego\\_Marcos .pdf](http://www.ufrgs.br/medterm/trabalhos/trabalhos-2011/Bruno_Diego_Marcos.pdf)> Acesso 20 out. 2014.