

## Aspectos teóricos de funcionamento de um medidor de vazão eletromagnético.

BATTISTON, Rafael.<sup>1</sup>  
COSTA, Thiago Fernandes da<sup>2</sup>  
JUNIOR, Osni Silva.<sup>3</sup>  
JACOMINI, Sandro.<sup>4</sup>  
OWISIANY, Gustavo Bastiani.<sup>5</sup>

### RESUMO

Este trabalho tem por objetivo o estudo sobre o funcionamento e as características técnicas e construtivas de um medidor de vazão magnético. Os modelos existentes, as suas aplicações e vantagens em relação a outros medidores de vazão. Tendo em vista a característica particular desse tipo de medidor, em relacionar uma força eletromotriz induzida a partir de um campo magnético, com a velocidade de escoamento de um fluido.

**PALAVRAS-CHAVE:** Medidor de vazão, medidor magnético, campo magnético, lei de Faraday.

### 1. INTRODUÇÃO

O uso da hidráulica está presente ao longo da história da humanidade, seu início remonta aos primórdios das primeiras civilizações organizadas, que buscavam estabelecer-se próximas a fontes d'água, para suprir suas necessidades básicas como: comida, água e transporte. Com o desenvolvimento e expansão das civilizações, tornou-se cada vez mais difícil a acessibilidade e água, criando-se assim, novos métodos de transporte da mesma até localidades distantes das fontes.

Os egípcios criaram complexos canais de irrigação, ligando os rios às cidades e suas plantações. Os romanos foram grandes construtores de obras hidráulicas, desenvolvendo complexos sistemas prediais de água, até as grandes obras de abastecimento de água e transporte de esgoto (aquedutos). Destes complexos sistemas, surgiu a necessidade das primeiras medições de vazão de água, cujas obras datam de 40 a 103 d.C., citadas com detalhes nas obras do Governador Julius Frontinus.

Um medidor de vazão, também chamados de medidores de fluxo, é um instrumento usado, direta ou indiretamente, para medir a taxa de vazão, linear ou não linear, da massa ou do volume de um líquido ou um gás. Os medidores de vazão são dispositivos que nos fornecem a quantidade, em

<sup>1</sup>Estudante de engenharia Elétrica no Centro Universitário Assis Gurgacz. E-mail: rafabattiston@hotmail.com;

<sup>2</sup>Estudante de engenharia Elétrica no Centro Universitário Assis Gurgacz. E-mail: tfc1490@gmail.com;

<sup>3</sup>Estudante de engenharia Elétrica no Centro Universitário Assis Gurgacz. E-mail: osnijr96@gmail.com;

<sup>4</sup>Estudante de engenharia Elétrica no Centro Universitário Assis Gurgacz. E-mail: sandrojacomini@gmail.com;

<sup>5</sup>Estudante de engenharia Elétrica no Centro Universitário Assis Gurgacz. E-mail: gustavo\_bastianii@hotmail.com;

massa ou em volume, que passa por uma secção em um intervalo de tempo. O método mais direto de se obter a vazão é o método das pesagens, que consiste em colher uma medida de volume ou massa em certo intervalo de tempo.

A base para uma boa escolha de um medidor de vazão é uma boa compreensão dos requisitos da aplicação específica. Ao escolher um medidor de vazão, devem ser considerados fatores intangíveis como a familiarização dos trabalhadores e sua experiência com calibração e manutenção, a disponibilidade de peças de reposição e o intervalo médio do histórico das falhas, entre outros, na unidade específica.

Haja visto a utilização da hidráulica pela humanidade, este trabalho tem por objetivo esclarecer os sistemas de medição de vazão utilizados atualmente, dando enfoque ao medidor de vazão eletromagnético.

## 2. MEDIDOR ELETROMAGNÉTICO

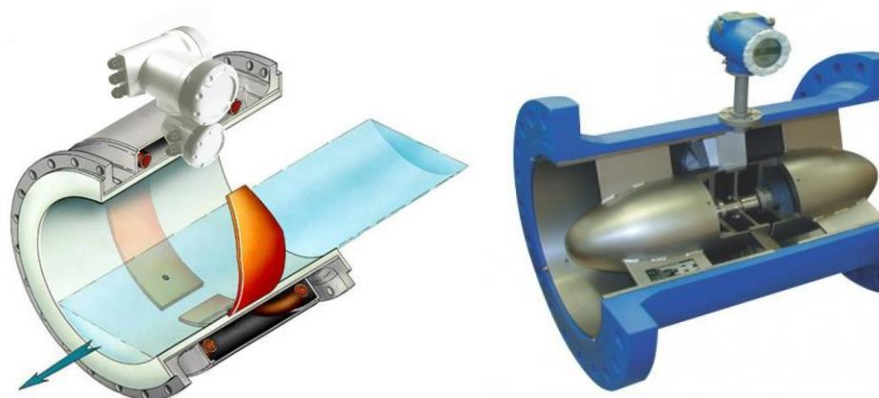


Figura 1: Comparativo entre um medidor tipo turbina (direita) e um eletromagnético (esquerda), percebe-se que o eletromagnético não possui partes intrusivas ao processo. Fonte: Conault (esquerda) Maxus (direita); Acesso: <https://goo.gl/OmbqJ6> (esquerda); <https://goo.gl/2yJI8J> (direita). Ano: 2016.

A técnica magnética para medição de vazão é uma das mais flexíveis e universais dentre os métodos disponíveis. Sua perda de carga é equivalente à de um trecho reto de tubulação, já que não possui qualquer obstrução. Seus princípios operacionais fornecem medição de fluxo independentemente da temperatura do fluido, pressão, densidade, viscosidade ou direção. Também possui versões para os mais variados diâmetros de instalações, indo, por exemplo, desde diâmetros nominais de 1/12" até 78" (característica que pode variar de acordo com o fabricante). “A única restrição em princípio, é que o fluido deve ser eletricamente condutivo. Tem ainda como limitação o fato de fluidos com propriedades magnéticas adicionarem erro na medição” (COLANTONIO, p.20, 2007).

Medidores de vazão eletromagnéticos são encontrados em quase todas as indústrias que precisam medir vazões de líquidos condutores, porém são utilizados principalmente em água/esgoto, mineração e na indústria de alimentos. A sua construção robusta permite o uso sob as mais severas condições ambientais, incluindo aplicações de mineração desafiadoras. Devido às técnicas de fabricação melhoradas e grandes avanços na filtragem eletrônica dos sinais medidos, os medidores de vazão magnéticos têm continuamente decaído seu preço e tido grandes aumentos na precisão.

Medições típicas incluem gravação e monitoramento de taxas de fluxo contínuo, enchimento de sistemas e dosagens de aplicações, bem como a transferência de fluidos entre locais. Um grande número de fluidos de base aquosa pode ser medida: água, águas residuais, lamas, pastas, ácidos, álcalis, sucos, polpa de frutas e muito mais.

## 2.1 RESUMO HISTÓRICO

O cérebro por trás do primeiro medidor magnético era o padre e professor de matemática e física na escola do mosteiro de Engelbert, na Suíça, Bonaventura Thurlemann (Figura 7). Com base em suas experiências com os fluxos laminar e turbulento, ele foi capaz de demonstrar que a velocidade média do fluxo em um tubo pode ser determinada medindo a diferença de potencial

elétrico entre dois pontos de fronteira em um tubo sem que seja necessário saber a distribuição de velocidades no tubo.

Sua publicação em 1941 "*Methodes Zur Elektrischen Geschwindigkeitsmessung Von Flüssigkeiten*" (Método Elétrico para a Medição da Velocidade em Líquidos) preparou o caminho para a aplicação prática das Leis de Faraday para a medição do fluxo de volume de líquidos.

As centenas de milhares de medidores de vazão magnéticos usados em todo o mundo para medir líquidos condutores são baseados nas pesquisas de Bonaventura, e ele nunca patenteou essa invenção. Em um discurso em 1984 na abertura da unidade de produção de medidores eletromagnéticos da empresa Endress+Hauser Flowtec AG (Reinach, Suíça), o Padre Bonaventura disse que o processo de patenteamento era muito complicado para ele. Bonaventura faleceu em 30 de maio de 1997, com 84 anos.



Figura 2: Padre Bonaventura Thuerleman. Fonte: <https://goo.gl/GFMSMY>. Ano: 2016

## 2.2 ESTRUTURA CONSTRUTIVA

O medidor de fluxo eletromagnético é composto basicamente por:

- a) uma seção tubular feita de material isolante ou por algum material metálico revestido internamente por um isolante (necessário para evitar curtos-circuitos nos eletrodos);
- b) Bobinas ou ímãs permanentes para gerar o campo magnético;
- c) Eletrodos para medir a diferença de potencial gerada pela separação dos íons;

d) Circuito eletrônico, conhecido como conversor, que é responsável por filtrar, amplificar e transmitir o sinal adquirido nos eletrodos.



Figura 3: Medidor de vazão do tipo eletromagnético completo, contendo o tubo medidor e conversor juntos (à direita), e conversor para instalação remota (à esquerda). Fonte: <https://goo.gl/JbskGw>. Acesso: 2016.

Analisando o seu aspecto construtivo (Figura 9), podemos perceber que o equipamento é montado de forma que os sensores (eletrodos) sejam simultaneamente perpendiculares ao campo magnético e ao fluxo do líquido, de acordo com o princípio da Lei de Faraday, que segundo o fabricante Incontrol, diz que “quando um condutor se move em um campo magnético, na direção perpendicular ao campo, uma força eletromotriz é induzida perpendicularmente à direção do movimento do condutor e à direção do campo magnético”, sendo essa f.e.m. diretamente proporcional à sua velocidade de deslocamento.

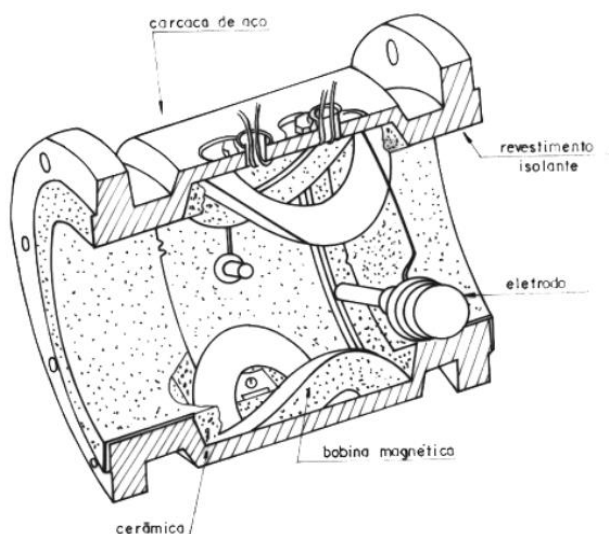


Figura 4: Medidor de vazão eletromagnético em corte. Fonte: <https://goo.gl/nm7crt>. Ano: 2016.

### 2.2.1 Estrutura do tubo medidor

Devemos atentar para as propriedades magnéticas do material do qual é feito o tubo do medidor, pois o material pode ter propriedades magnéticas intrínsecas que podem interferir no formato do campo externo aplicado e comprometer a medida. O corpo externo do medidor é geralmente fabricado em aço inoxidável AISI 304 ou AISI 316. Já o material da parte interna, devido ao campo magnético empregado na indução, deve ser não magnético. Dentre os materiais utilizados como revestimento interno, podemos citar a Cerâmica, o Teflon e o Viton, este último geralmente utilizado para efluentes e esgotos abrasivos (INCONTROL, 2008).



Figura 5: Exemplo de um tubo medidor de grande porte. Fonte: <https://goo.gl/EVzIUa>Ano: 2016.

### 2.2.2 Geração do campo magnético

Para o campo magnético, podem ser utilizados ímãs, gerando um campo apenas contínuo, ou bobinas excitadas por corrente elétrica, que podem gerar um campo contínuo ou alternado. Somente em casos especiais os ímãs são aplicados, como por exemplo, em casos de medição de vasos sanguíneos, na área médica. Para a instalação em outras situações as bobinas são preferíveis pela sua versatilidade, e possibilidade de alternância de campo.

Quando o campo magnético é constante, ocorre que os eletrodos acabam captando interferências externas ou do próprio fluido a ser medido muito facilmente, interferências estas que devem ser identificadas, tratadas e separadas do sinal real a ser medido. Além disso, também apresentam o efeito de polarização, com a formação de sais que se depositam nos eletrodos, e assim interrompem o circuito de medição.

Esses problemas podem ser evitados com o uso de bobinas alimentadas por corrente alternada, ou contínua pulsada, que é filtrada e fornecida pelo próprio conversor do medidor. Como resultado, temos leituras mais estáveis e com o ponto zero de fluxo identificado com maior precisão (Endress+Hauser).

### 2.2.3 Eletrodos

Os medidores magnéticos podem ter eletrodos do tipo fixo ou móvel. No caso do modelo com eletrodo móvel, este pode ser retirado com maior facilidade do tubo medidor para ser limpo, por exemplo. Dentre os materiais utilizados para se fabricar os eletrodos, podemos citar como mais usual o aço inoxidável AISI 316L, mas temos também opções em hastelloy B e C, titânio, tântalo, platina e níquel (CONAUT, 2011). Alguns modelos mais atuais, também utilizam o método capacitivo para leitura, não tendo assim nenhum contato direto com o fluido a medir.

### 2.2.4 Conversor

O conversor é quem fornece a energia para excitar as bobinas e produzir o campo magnético. Também realiza a leitura da força eletromotriz então induzida nos eletrodos, convertendo essa força, em um valor relativo de vazão que será apresentado em seu visor, e/ou convertido em algum outro tipo de sinal digital ou analógico que poderá ser utilizado em sistemas de supervisão e controle.

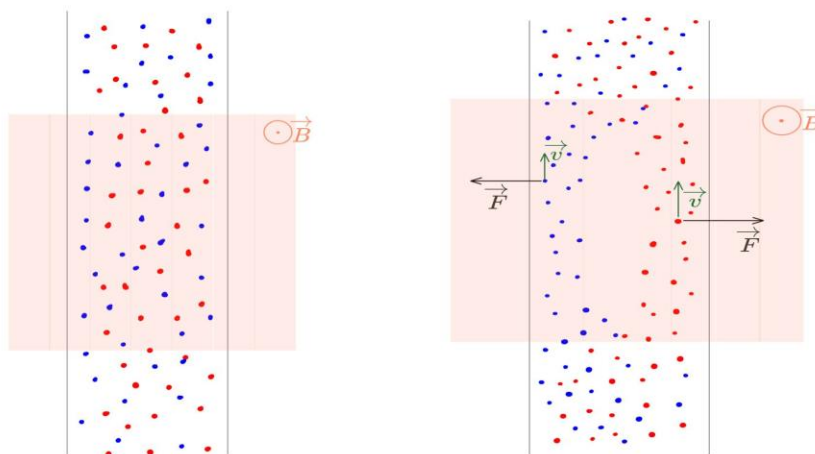
Ele é instalado geralmente sobre a própria estrutura do medidor, mas também pode ser colocado distante deste, porém nesse caso requer o uso de cabos especiais blindados para a ligação entre o medidor e conversor. Esses cabos não devem passar próximo a motores, transformadores ou outros

cabos com corrente elevada que possam causar ruídos por indução. Deve-se mantê-los a pelo menos um metro de distância dos cabos de força (INCONTROL, 2008).

### 2.3 PRINCÍPIOS FÍSICOS DE OPERAÇÃO

É preciso lembrar que esse tipo de medidor só funciona para líquidos condutores. Isso por que, microscopicamente, esse equipamento só funciona se houver uma diferença de potencial elétrico resultante da separação dos íons presentes no meio.

Em um líquido condutor existem íons positivos (cátions) e íons negativos (ânions) que estão homogeneamente distribuídas no espaço, nesse caso, no interior do tubo. Essa homogeneidade é percebida, em princípio, em toda a tubulação. Entretanto no interior do medidor é aplicado um campo magnético capaz de separar os íons de cargas opostas, cada tipo de carga para um diferente lado. Esse fenômeno ocorre graças a Força de Lorentz, a qual diz que, na inexistência de campos elétricos (particularidade desse caso), toda carga em movimento no interior de um campo magnético é defletida com uma força proporcional a carga, a intensidade do campo e a velocidade da partícula, além de levar em conta fatores geométricos.



**Figura 6:** Esquerda: Os íons se mantem dispersos no fluido mesmo sob ação do campo magnético, pois o fluido nesse momento está parado. Direita quando o fluido passa a ter movimento dentro do campo magnético, os íons se separam, gerando uma diferença de potencial perpendicular ao fluxo magnético Fonte: <https://goo.gl/aJBDy> (esquerda); <https://goo.gl/fYB1nE> (direita). Ano: 2016.



A separação das cargas no interior do medidor gera uma diferença de potencial elétrico que será medida pelos eletrodos e processada pelo circuito eletrônico (conversor), o que permite conhecer a velocidade do fluxo.

Essa diferença de potencial induzida no líquido, segundo a lei de Faraday pode ser expressa pela equação:

$$U = K \times B \times V \times D$$

Onde:

U = f.e.m.

K = constante do instrumento

B = intensidade do campo magnético

V = velocidade média do fluxo

D = Distância entre os eletrodos.

A tensão (U) induzida neste meio é diretamente proporcional à velocidade média do fluxo (V). A indução magnética (B) (intensidade de campo magnético) e a distância entre os eletrodos (D) (diâmetro do tubo) são constantes. Logo a f.e.m induzida é função da vazão volumétrica do processo. (INCONTROL, 2008).

## 2.4 CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

- e) Alta precisão: +/- 0,2% do valor medido;
- f) Alta repetitividade: +/- 0,1%;
- g) Alta confiabilidade: “Rangeabilidade”: 1000/1;
- h) Temperatura máxima: 180°C (Pode variar de acordo com o fabricante);
- i) Sem partes móveis, praticamente livre de manutenção;

j) Ampla range de medição;

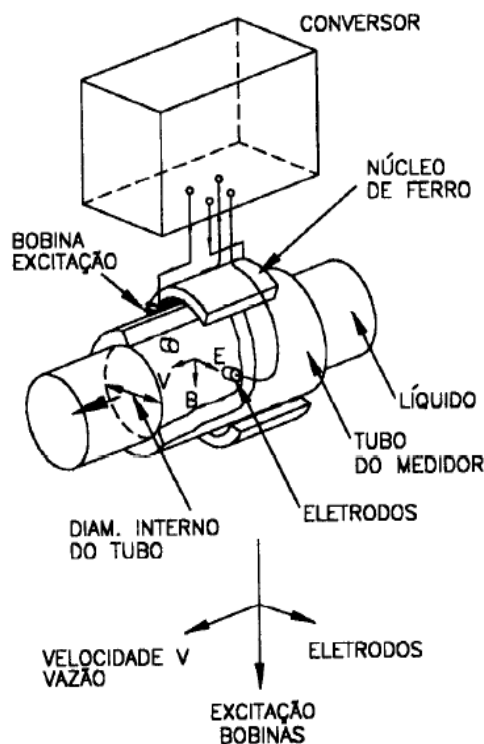


Figura 7: Características e componentes de um medidor de vazão eletromagnético. (Manual de operação e instalação Incontrol, pag. 3, 2008)

#### 2.4.1 Vantagens

- j) Alta versatilidade;
- k) Longa vida útil de trabalho;
- l) Não gera perda de carga;
- m) Direção de fluxo bidirecional;
- n) Sem limite de medição para líquidos viscosos;
- o) Configuração simples e rápida;
- p) Eletrodo de referência + eletrodo para detecção de linha preenchida\*;
- q) Adequado e Aprovado para limpeza CIP/SIP\*;
- r) Aprovado para indústria alimentícia e de bebidas em geral;

(\*) Depende do modelo e fabricante.

#### 2.4.2 - Aplicações comuns:

1. Tratamento de água, esgoto e efluentes;
2. Indústria química;
3. Indústria de papel e celulose;
4. Indústria farmacêutica;
5. Indústria alimentícia e bebidas;
6. Siderúrgicas;
7. Cimento e derivados;
8. Indústria de minérios;
9. Indústria de ração animal;
10. Indústria têxtil;
11. Geração de energia.

Lembrando que ele deve ser aplicado em líquidos com condutividade elétrica que seja superior a um microSiemens/cm, não sendo aplicável, por exemplo, em derivados do petróleo.

Uma aplicação que requer atenção especial é a medição de vazão de água desmineralizada, devido a sua total ausência de minerais, a vazão dessa água não pode ser medida por muitos dos medidores de vazão magnéticos. Alguns, mais desenvolvidos, conseguem realizar a medição, no entanto ela deverá possuir uma condutividade elétrica mínima de 20 microSiemens/cm e sua velocidade de escoamento deverá estar entre 1 a 5 m/s.

#### 2.5 CARACTERÍSTICAS DE FLUXO

Quanto à velocidade de escoamento recomendada para o medidor de vazão magnético, ela irá variar de acordo com os tipos de líquidos, como a seguir:

- I. Líquidos Normais: 1 a 5 m/s (água potável, refrescos, cerveja, vinho, etc);
- II. Líquidos abrasivos: 0,3 a 1,5 m/s (polpa de minério, ácidos, xaropes, etc);
- III. Lamas e Pastas: acima de 1,5 m/s;
- IV. Líquidos com alta porcentagem de sólidos em suspensão: acima de 1,5 m/s (polpa de celulose, polpa de tomate, efluentes, etc).

Deve-se observar sempre a quantidade de sólidos em suspensão presentes nos líquidos e também sua velocidade de escoamento, pois em geral, os fabricantes de medidor de vazão magnético costumam mencionar velocidades aplicáveis entre 0,3 a 10 m/s. Como essa informação é generalizada, a velocidade de escoamento recomendada varia conforme o tipo de líquido e sua quantidade de sólidos em suspensão, que geralmente não deve ultrapassar 30% de concentração dependendo do líquido.

## 2.6 - INSTALAÇÃO

O medidor deve ser instalado em um ponto que disponha de uma secção reta em ambos os lados. Também, o mais longe quanto possível de qualquer bomba na linha de modo que não tenha um fluxo pulsante, e em um ponto do sistema que garanta ao tubo medidor estar completamente preenchido pelo fluido (Figura 13). Caso o tubo não esteja completamente cheio, ou apresente formação de bolhas durante o fluxo, poderão ocorrer erros de medida.

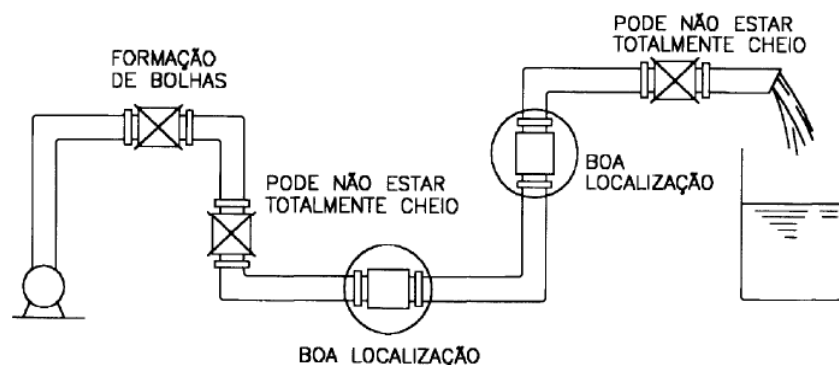


Figura 8: Detalhe dos pontos de instalação mais indicados. Fonte: Manual de Operação e instalação INCONTROL. Ano: 2008

Também, caso o fluido possua elementos sólidos em suspensão, o medidor deve ser instalado em uma posição que possa melhor distribuir essas partículas em toda a área interna do tubo, a exemplo na posição vertical (Figura 14).

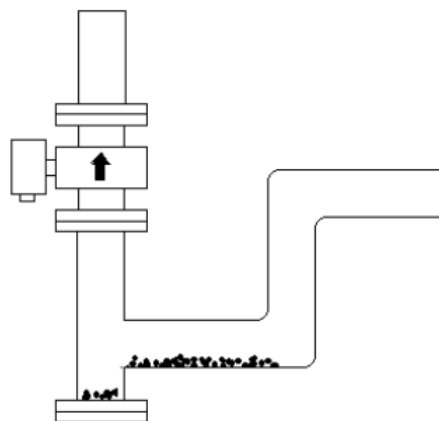


Figura 9: Detalhe de instalação para sistemas com partículas sólidas suspensas. Fonte: Manual de Operação e instalação INCONTROL. Ano: 2008

Se o líquido medido contém bolhas de ar, deverá ser instalado em uma posição onde não haja formação de bolsão de bolhas (Figura 15).

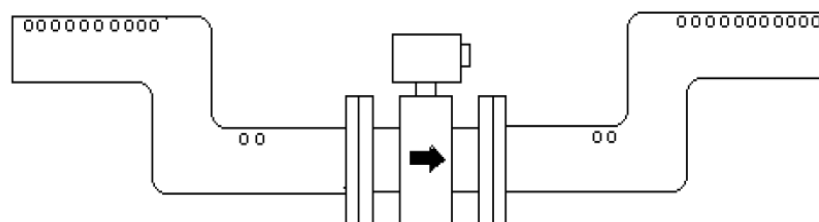


Figura 10: Detalhe de instalação em sistemas com formação de bolsão de bolhas (Manual de Operação e instalação INCONTROL, 2008)

## 2.7 ATERRAMENTO DO MEDIDOR

Em áreas com forte interferência eletromagnética, deve-se interligar o medidor a um bom sistema de aterramento. Os cuidados para instalação em linhas de PVC são os mesmos que para dutos metálicos, porém para garantir o perfeito funcionamento do mesmo neste caso, é necessário que um bom aterramento seja conectado em pontos próximos do corpo do medidor. Flanges de aterramento sempre deverão ser utilizadas quando a linha for de material não condutivo, e opcionalmente em linhas metálicas. Os mesmos deverão ser feitos do mesmo material a fim de evitar a eletrólise entre eles (Figura 16).

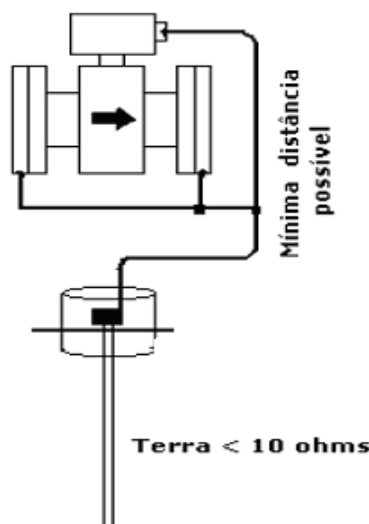


Figura 11: Detalhe de instalação dos flanges de aterramento. Fonte: Manual de Operação e instalação INCONTROL. Ano: 2008

## 4. ANÁLISES E DISCUSSÕES

Com base no estudo realizado, verificamos as características dos medidores de vazão do tipo magnético, de forma que pode-se observar algumas características positivas, e negativas, em relação a sua utilização, e a de outros instrumentos de medição similar, porém com princípio de funcionamento distinto.

Como ponto positivo, temos o fato deste tipo de medidor ser muito flexível com relação a variedade de fluidos que podem ser medidos, podendo ser utilizado para medição do fluxo desde água limpa, até fluidos explosíveis, químicos e com partículas sólidas em suspensão. O sistema construtivo desse tipo de medidor é caracterizado por não possuir partes invasivas ao tubo, ou seja, não possui partes móveis ou que ofereçam resistência a passagem do fluido, tendo assim, uma perda de carga equivalente a um trecho reto de tubulação. Também apresenta a característica de ser insensível à densidade e à viscosidade do fluido a ser medido.

Porém, temos como ponto negativo, o fato de que, o fluido a ser medido, deve ser do tipo incompressível, não sendo aplicado comumente, por exemplo, na medição de gases. Como seu princípio de funcionamento baseia-se na Lei de Faraday, sobre indução magnética, o fluido a ser medido deve possuir uma condutividade elétrica mínima, sendo assim, não é aplicável em fluidos isolantes, e também apresenta erros de leitura em fluidos com propriedades magnéticas.

Analisando os pontos positivos e negativos, podemos concluir que este tipo de medidor de vazão, quando aplicado em sistemas que atendam seus requisitos mínimos de operação, possui um custo benefício melhor se comparado a outros métodos de medição, pois, por não possuir partes móveis, requer baixa, ou nenhuma manutenção, principalmente pela característica construtiva de não possuir partes móveis, resultando assim em custos de manutenção e intervenção, com parada de processo, muito menores.

## REFERÊNCIAS

HALLIDAY, D. (1996). **Física 3**. Rio de Janeiro: LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

SADIKU, M. N. (2004). **Elementos de Eletromagnetismo**. Porto Alegre: Grupo A.

TRIPLER, P. A. (2006). **Física para cientistas e engenheiros Volume 2**. Rio de Janeiro: LTC- Livros técnicos e Científicos Editora S.A.

COLANTONIO, R. **Estudo e implementação de um medidor de vazão eletromagnético para pesquisa na área de circulação assistida**. São Caetano do Sul: 2007, 20 p.

CONAUT, **Medidores de vazão eletromagnéticos**. Embu: 2011, 3 p;

DELMEE, G.J. **Manual de medição de vazão**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2003. 346 p;

LAMON, G. **Medidor de vazão magnético**, 2014. Disponível em  
«<http://www.lamon.com.br/ckfinder/userfiles/files/MEDIDOR%20MAGNETICO%20DE%20VAZ%20C3%83O.pdf>» . Acesso em 18/05/2016 ;

INCONTROL, **Manual de operação e instalação de medidor eletromagnético**. São Paulo: 2008.

U-F-M Industries. Disponível em: «<http://www.ufm-industries.com/en/father-bonaventura-thurlemann-2/>» . Acesso em 15/05/2016.

FIGLIOLA, Richard S.; BEASLEY, Donald E. **Teoria e Projeto para Medições Mecânicas**. 4º Edição, 2007.

RODRIGUES, Luiz Eduardo Miranda J. Rodrigues, **Mecânica dos Fluidos**. Disponível em  
«<http://www.engbrasil.eng.br/pp/mf/aula8.pdf>» Acesso: 15/05/2016.





OLIVEIRA, Marcos A. Andrade de.. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em:  
<[http://www.pel.uerj.br/bancodissertacoes/Dissertacao\\_Marcos\\_Oliveira.pdf](http://www.pel.uerj.br/bancodissertacoes/Dissertacao_Marcos_Oliveira.pdf)> Acesso em:  
13/05/2016.

ENDRESS+HAUSER, (Ireland) Ltd. Disponível em:  
<<http://www.powderhandling.com.au/articles/endress-hauser-celebrates-one-millionth-magmeter>>.  
Acesso em 15/05/2016.

SABER, Editora. **Medidor de vazão magnético**, 2014 Disponível em: «  
<http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/1444-medidor-de-vazo-tipo-magntico>». Acesso em  
18/05/2016.