

VOLUME 1 – MACROMEDIÇÃO



VOLUME 1

Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água

MACROMEDIÇÃO

Apoio



Secretaria Nacional de
Saneamento Ambiental

Ministério
das Cidades



Guias práticos –
Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água

MACROMEDIÇÃO

VOLUME 1

Autor
Márcio Frangipani

Organizador/Revisor técnico
Ailton Sampaio Gomes

Programa de Modernização do Setor Saneamento
Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental
Ministério das Cidades
Governo Federal

Ministro das Cidades: *Marcio Fortes de Almeida*

Secretário Executivo: *Rodrigo José Pereira-Leite Figueiredo*

Secretário Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA) - Substituto: *Sérgio Antônio Gonçalves*

Diretor de Desenvolvimento e Cooperação Técnica (SNSA): *Marcos Helano Fernandes Montenegro*

Diretor do Departamento de Água e Esgotos (SNSA): *Márcio Galvão Fonseca*

Diretora do Departamento de Articulação Institucional (SNSA) - Substituta: *Norma Lúcia de Carvalho*

Coordenador do Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS): *Ernani Ciríaco de Miranda*

Coordenadora do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA): *Cláudia Monique F. de Albuquerque*

PMSS e PNCDA - SCN, Quadra 1, Bloco F, 8º andar, Edifício América Office Tower - CEP 70711-905

Fones: (61) 3327-5006 e 3315-5329 - FAX: (61) 3327-9339

pmss@cidades.pmss.gov.br

www.cidades.gov.br/pncda e www.cidades.pmss.gov.br

Autor: Márcio Frangipani

Organizador/Revisor técnico: Airton Sampaio Gomes

Guias práticos : técnicas de operação em sistemas de
abastecimento de água / organização, Airton Sampaio
Gomes. - Brasília : SNSA, 2007.
5 v.

Conteúdo: v. 1. Macromedição / Márcio Frangipani
ISBN 978-85-60133-57-4

1. Abastecimento de água. I. Gomes, Airton Sampaio.
II. Frangipani, Márcio. III. Título.

CDU 628.1

Coordenação editorial: Rosana Lobo; Revisão: Eduardo Perácio; Projeto gráfico: Rosana Lobo; Editoração eletrônica: GRAU Design;
Fotolitos e impressão: Gráfica e editora POSIGRAF

Todas as informações técnicas constantes da presente publicação são de responsabilidade do(s) autor(es).

É permitida a reprodução total ou parcial desta publicação, desde que citada a fonte.

Apresentação

O PNCD – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, instituído em 1997, vinculado à Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades – SNSA/MCidades, tem por objetivo geral a promoção do uso racional da água de abastecimento público nas cidades brasileiras, em benefício da saúde pública, do saneamento ambiental e da eficiência dos serviços, propiciando a melhor produtividade dos ativos existentes e a postergação de parte dos investimentos para a ampliação dos sistemas.

Em termos de abrangência temática, o Programa comporta ações com interface junto aos recursos hídricos, no âmbito da bacia hidrográfica, passando pelo sistema público de abastecimento de água, propriamente dito, atingindo o uso racional da água pelos usuários (sistemas prediais). O Programa centra suas principais ações em linhas de capacitação, elaboração de estudos, disseminação tecnológica e articulação institucional visando ao desenvolvimento de ações conjuntas e complementares de combate ao desperdício de água.

A maior concentração de ações do PNCD está no tema das perdas de água nos sistemas públicos de abastecimento, motivo pelo qual deve-se estar atento à sua melhor compreensão conceitual. As perdas de água englobam tanto as perdas reais (físicas), que representam a parcela não consumida, como as perdas aparentes (não-físicas), que correspondem à água consumida e não registrada. As perdas reais originam-se de vazamentos no sistema, que vão desde a captação até a distribuição propriamente dita, além de procedimentos operacionais como lavagem de filtros e descargas na rede, quando esses provocam consumos superiores ao estritamente necessário para operação. No que diz respeito às perdas aparentes, as mesmas originam-se de ligações clandestinas ou não cadastradas, hidrômetros parados ou que submedem, fraudes em hidrômetros e outras.

A redução de perdas reais diminui os custos de produção, pois propicia um menor consumo de energia, de produtos químicos e de outros insumos, utilizando as instalações existentes para ampliação da oferta, sem expansão do sistema produtor. No caso das perdas aparentes, sua redução permite aumentar a receita tarifária, melhorando a eficiência dos serviços prestados e o desempenho financeiro do prestador dos serviços.

A proposição de medidas visando à redução e ao controle das perdas enseja o conhecimento de parâmetros (tais como volumes, pressões, níveis, etc.) que permitem qualificar a situação em que se encontra determinado siste-

ma público de abastecimento. Neste contexto, torna-se fundamental o estabelecimento da “cultura” da medição, garantindo-se a apropriação contínua de parâmetros hidráulicos e elétricos e a possibilidade de elaboração do balanço hídrico, do completo diagnóstico do sistema de abastecimento e da sua modelagem hidráulica, com base no real funcionamento do sistema. Para se alcançar um cenário como esse, é necessário estruturar um plano de ação visando à redução e ao controle das perdas e desperdícios, coerente com a disponibilidade de recursos financeiros, humanos e materiais. Esse plano deve considerar os custos e benefícios resultantes das ações correspondentes, conduzindo a uma hierarquização das ações preconizadas.

Também é necessário que os planos de redução e controle das perdas e desperdícios estejam associados a outros programas que levem às mudanças estruturais e comportamentais necessárias, como os programas de qualidade, planejamento estratégico ou outros planos de modernização. Desta forma, devem integrar e envolver todos os funcionários da empresa prestadora de serviços, adquirindo caráter permanente e auto-sustentabilidade. Para isso, a mobilização e a comunicação social, tanto internas ao prestador de serviços, como externas junto à sociedade, são ferramentas estratégicas.

Neste contexto, o PNCDA, em sua vertente de elaboração de estudos, já publicou vinte e três Documentos Técnicos de Apoio (DTA), cobrindo as áreas de abrangência temática do Programa, antes mencionadas. Os Documentos têm por objetivo auxiliar no planejamento e implementação de medidas no âmbito da temática do PNCDA, além de serem utilizados nos eventos de capacitação do Programa, que vêm ocorrendo desde 1999.

Dando seqüência a essa vertente, em parceria com o PMSS – Programa de Modernização do Setor Saneamento, o PNCDA inaugura uma nova linha de DTAs, sob forma de “Guias Práticos”, que visam ao atendimento a uma forte demanda, por parte das equipes operacionais dos prestadores de serviços de saneamento, por documentos de fácil entendimento, aplicativos e práticos, de modo a serem úteis quando da realização de serviços de campo. Assim, os Guias abordam temas relacionados às questões cotidianas vivenciadas por equipes responsáveis pela operação e manutenção de sistemas de abastecimento de água no país, usando uma linguagem acessível, recursos gráficos, fotos, desenhos e croquis, adotando, enfim, uma mensagem visual para o adequado entendimento dos procedimentos descritos.

A presente série de Guias Práticos, denominada Técnicas de Operação em Sistemas de Abastecimento de Água, inicia-se com cinco publicações sobre temas fundamentais aos trabalhos de campo, quais sejam: a macromedição,

os ensaios pitométricos, a pesquisa e combate a vazamentos não visíveis, o controle de pressões e operação de válvulas reguladoras de pressão e a conta de energia elétrica no saneamento.

A Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, por meio de seus programas PNCD A e PMSS, esperam que os “Guias Práticos” contribuam tecnicamente para o desempenho das atividades operacionais nos serviços de abastecimento de água e desejam contar com a colaboração do leitor enviando sugestões para a melhoria e o aprimoramento das publicações.

Brasília, janeiro de 2007

Ministério das Cidades

Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental

Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCD A)

Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS)

O PROGRAMA DE MODERNIZAÇÃO DO SETOR SANEAMENTO

O **Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS)** consolidou-se, ao longo de seus quatorze anos, como um instrumento permanente de apoio à instância executiva da política de saneamento do Governo Federal, tendo suas ações voltadas à criação das condições propícias a um ambiente de mudanças e de desenvolvimento do setor saneamento no país. Atualmente, é um dos principais programas da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades.

O Programa tem, no **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)**, o seu mais reconhecido produto. A credibilidade construída em torno deste instrumento permitiu, em seus 11 anos de existência, consolidar séries históricas de diversos dados e informações fornecidos por uma amostra de prestadores de serviços, tanto de água e esgotos como de resíduos sólidos, que progressivamente se amplia em tamanho e representatividade.

Por sua vez, a **assistência técnica** aos órgãos e entidades do setor saneamento constitui-se em pauta fundamental do PMSS, buscando promover reformas institucionais, especialmente nos prestadores de serviços, com vistas a melhorar a qualidade e o nível de eficiência e eficácia de suas ações, condição básica para universalização dos serviços. Neste sentido, são potenciais beneficiários do Programa: (i) os estados e municípios, na formulação de políticas públicas e desenvolvimento de planos de saneamento; (ii) as instâncias de regulação e fiscalização, na implementação de atividades regulatórias; e (iii) os prestadores públicos de serviços, na sua revitalização e reestruturação.

Além do apoio direto ao prestador de serviços, operando segundo o modelo de gestão vigente, a assistência do PMSS estuda arranjos alternativos de gestão, que permitam o fortalecimento do prestador de serviços atual, funcionando em novas bases, mas que também possibilitem ao governante explorar novos modelos que enfrentem o quadro de dificuldades em que se encontram os serviços de saneamento nos estados e municípios brasileiros.

O Programa alavanca o desenvolvimento institucional do setor mediante ações de **capacitação** dos agentes que atuam no saneamento. Neste sentido, o PMSS liderou, em parceria com diversos órgãos do Governo Federal e a operacionalização da Financiadora de Estudos e Pesquisas (FINEP), o processo de criação e estruturação da Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental (ReCESA). Foram constituídos quatro Núcleos Regionais, coordenados por 14 universidades e que agregam cerca de 80 instituições parceiras (entre prestadores de serviços, entidades do setor, sistema S e sistema Cefet). O PMSS exerce o papel de Núcleo Executivo do Comitê Gestor da ReCESA.

O PMSS também fornece o suporte técnico e de logística à SNSA/MCidades na implementação do projeto de **Cooperação Internacional Brasil-Itália em Saneamento Ambiental**, que conta com a participação de instituições do governo italiano e da HYDRO-AID – *Scuola Internazionale dell'Acqua per lo Sviluppo*, além da participação de municípios e universidades brasileiras.

O Programa desempenha ainda um papel de vanguarda em **temas emergentes para o setor**, como atingir as Metas do Milênio e atender aos tratados internacionais. Destacam-se parcerias com o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA), o

Programa de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o Projeto Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) aplicado a Resíduos Sólidos e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD).

O PMSS se insere efetivamente na **agenda político-institucional da SNSA/MCidades**, oferecendo suporte técnico na formulação e implementação do marco legal e regulatório para o setor. O programa contribuiu de forma destacada para a discussão e aprovação da Lei nº 11.107/2005 que regulamenta os Consórcios Públicos e no apoio a construção e aprovação da Lei nº 11.445/2007 que estabelece as diretrizes gerais e institui a política federal de saneamento básico.

O Programa de Modernização do Setor Saneamento conta, ainda, com um **projeto editorial**, que recentemente ganhou fôlego renovado com o lançamento da série de publicações e da revista periódica, denominadas “Saneamento para Todos”, abrangendo edições que fomentam a reflexão político-institucional e o intercâmbio técnico entre os agentes do setor.

Marcos Helano Fernandes Montenegro

Diretor de Desenvolvimento e Cooperação Técnica da SNSA/MCidades

Ernani Ciríaco de Miranda

Coordenador da UGP/PMSS

Sumário

1. Introdução	13
2. Princípios de metrologia	15
2.1 Erros de medida	15
2.1.1 Padrão primário para medidas de vazão	15
2.1.2 Padrão primário para medidas de pressão	16
2.2 Calibração	16
2.3 Exatidão	16
2.3.1 Exatidão expressa como EMA referido ao fundo de escala (f.e.)	16
2.3.2 Exatidão expressa como EMA referido ao valor instantâneo (v.i.)	17
2.4 Largura de faixa ou rangeabilidade	17
3. Medidores de vazão	18
3.1 Medidores velocimétricos	20
3.1.1 Medidores Woltmann	20
3.1.1.1 Medidores Woltmann verticais	20
3.1.1.2 Hidrômetro Woltmann horizontal	21
3.1.1.3 Principais características dos medidores Woltmann	22
3.1.2 Medidores de Turbina ou Hélice	22
3.1.3 Medidores compostos	23
3.1.4 Medidores proporcionais ou “Shunt”	24
3.1.5 Características construtivas dos macromedidores velocimétricos	25
3.1.6 Características de precisão e dimensionamento	25
3.1.6.1 Hidrômetros Woltmann	25
3.1.6.2 Hidrômetro de turbina ou hélice	26
3.1.6.3 Medidores de microturbina	28
3.1.7 Observações gerais quanto aos medidores velocimétricos	30

3.2	Macromedidores deprimogêneos	31
3.2.1	Placa de orifício	32
3.2.2	Tubos Venturi	33
3.2.3	Tubo Pitot	35
3.3	Medidores eletrônicos	36
3.3.1	Macromedidores magnéticos	36
3.3.2	Sondas magnéticas	38
3.3.3	Macromedidores ultra-sônicos.....	39
3.3.3.1	Medidores de efeito doppler	40
3.3.3.2	Medidores de Tempo de Trânsito	40
3.4	Medidores volumétricos.....	42
3.4.1	Medidores de disco nutativo.....	43
3.4.2	Medidores de pistão oscilante.....	43
3.4.3	Medidores de engrenagem	44
3.4.4	Características dos medidores volumétricos	44
3.5	Calhas Parshall.....	45
3.5.1	Principais dimensões	46
3.5.2	Equação típica	48
3.5.3	Exatidão	48
3.5.4	Vantagens	49
3.5.5	Desvantagens	49
4.	Medidores de pressão	50
4.1	Manômetros de coluna – tubo “U”	51
4.1.1	Procedimentos de cálculo.....	52
4.2	Manômetros mecânicos	53
4.3	Medidores de pressão eletrônicos.....	54

4.3.1 Medidor de pressão com sensor capacitivo.....	54
4.3.2 Medidor de pressão com sensor piezo resistivo	54
4.3.3 Medidor de pressão com sensor piezo elétrico de cristal.....	55
5. Medição de diferencial de pressão	56
5.1 Obtenção de pressão diferencial com sensor de foles opostos.....	56
5.2 Obtenção de pressão diferencial com sensor capacitivo.....	57
5.3 Obtenção de pressão diferencial com sensor de silício ressonante	58
6. Medição de nível.....	59
6.1 Visores de nível	59
6.2 Medição de nível com flutuadores	59
6.3 Medição de nível por borbulhamento	60
6.4 Medição de nível com sensor ultra-sônico.....	61
7. Calibração de macromedidores	62
7.1 Calibração de medidores de vazão deprimogêneos	62
7.1.1 Procedimentos e recomendações para calibração de deprimogêneos em campo com tubo Pitot.....	62
7.1.2 Cálculos para obtenção dos pares q e Δp	64
7.2 Aferição em campo de macromedidores velocimétricos	66
7.2.1 Aferição com vazões instantâneas.....	66
7.2.1.1 Análise dos desvios.....	67
7.2.2 Aferição com registro de volume	68
7.2.2.1 Análise dos Dados.....	68
7.3 Aferição de macromedidores magnéticos.....	70
7.4 Aferição de calhas Parshall.....	70
7.4.1 Procedimentos e recomendações para o ensaio de calha Parshall	71
A) Determinação de vazão.....	71
B) Determinação de H e H_2	72

C) Secundários: equipamentos indicadores de vazão na calha	72
D) Conferência dos registros nos elementos secundários	72
7.4.2 Determinação das constantes da equação	73
7.4.3 Medidor Parshall afogado – H_2	73
7.4.4 Calibração e ajuste dos dispositivos secundários	74
A) Mostrador circular	74
B) Medidores eletrônicos de nível	75
7.5 Aferição de manômetros e registradores de pressão	76
8. Referências bibliográficas	78

1. Introdução

O foco deste Guia é a macromedição, atividade indispensável para o controle e o gerenciamento das perdas de água nos sistemas de abastecimento de água. Cabe aqui uma primeira definição: A macromedição é tratada neste Guia Prático como sendo todo o processo inerente à medição e estimação dos parâmetros operacionais hidráulicos de sistemas de abastecimento, com ênfase na distribuição de água. Assim, dentre os parâmetros de interesse no monitoramento e operação dos sistemas de abastecimento encontram-se as medições de vazão, de pressão e de nível.

Este Guia não tem a pretensão de esgotar o assunto nem aprofundar demais os tópicos tratados. Deve ser visto mais como um incentivo para a prática da macromedição: os gestores dos sistemas têm de se conscientizar que é necessário manter funcionários especializados em medição ou, do contrário, a alternativa é seguir com a operação apenas empírica dos sistemas – incompetência gerencial que tem-se traduzido nas enormes perdas características da grossa maioria dos sistemas de abastecimento de água operados no Brasil.

Se tens que lidar com água, consulta primeiro a experiência, e depois a razão – Leonardo da Vinci (1452 – 1519).

Mais fácil me foi encontrar as leis com que se movem os corpos celestes, que estão a milhões de quilômetros, do que definir as leis de movimento da água, que escoam frente aos meus olhos – Galileu Galilei (1564 – 1642).

Pelas citações acima se pode ter idéia da dificuldade que há no tratamento das questões hidráulicas e sua medição. Entretanto, longe de ser este um fator desanimador, os desafios que se apresentam devem servir de estímulo para a procura de soluções.

Os capítulos neste Guia foram organizados conforme a seguinte estrutura:

Princípios de Metrologia: Neste tópico encontram-se abordados os principais conceitos referentes à precisão dos macromedidores.

Medidores de vazão: Os principais medidores de vazão utilizados em saneamento são apresentados. Descrevem-se os princípios de funcionamento de cada tipo de medidor, as características construtivas, detalhes de instalação e observações quanto às vantagens e desvantagens de cada modelo.

Medidores de pressão: Os medidores de pressão mais utilizados, seus princípios de funcionamento e detalhes de utilização são evidenciados.

Medidores de diferencial de pressão: Pela sua importância, estes medidores e suas características de funcionamento são apresentados neste capítulo com destaque.

Medidores de nível: Neste capítulo encontram-se descritos tipos de medidores utilizados para medição e controle de nível, e seus princípios de funcionamento.

Aferição e calibração de macromedidores: Neste tópico estão abordados os procedimentos utilizados para aferição dos macromedidores de vazão e pressão.

Em vários tópicos mencionam-se os levantamentos pitométricos (medição de vazão com tubo Pitot) assunto este tratado num Guia Prático específico ao qual se recomenda que seja consultado. Neste sentido, as práticas de pitometria devem ser vistas como uma parte importante da macromedição, na ausência de mecanismos mais fáceis e confiáveis para a calibração de medidores de grande porte nos sistemas de abastecimento de água.

Cláudia Monique Frank de Albuquerque

Coordenadora Técnica do Programa Nacional de Combate ao Desperdício da Água
Ministério das Cidades

2. Princípios de metrologia

Antes de iniciar a descrição dos equipamentos utilizados em macromedição, é de suma importância o entendimento de alguns conceitos relacionados ao desempenho de equipamentos de medição de uso comum no saneamento, visando à confiabilidade dos dados fornecidos e posterior interpretação e utilização dos mesmos.

2.1 Erros de medida

O erro de medida expressa o desvio que o valor indicado pelo instrumento de medição apresenta com relação ao valor real da grandeza que é medida. Podem-se definir dois tipos distintos de erros:

Erro absoluto de medição: É o resultado do valor de uma medição menos o valor real do parâmetro medido.

Erro relativo: É o resultado da divisão entre o erro absoluto de medição pelo valor real do parâmetro medido. O erro relativo, também chamado de desvio, é o mais utilizado.

O valor real do parâmetro é determinado por instrumentos ou sistema de medição que seja amplamente reconhecido como tendo as mais altas qualidades metrológicas e cujo valor é aceito como referência. O instrumento ou método de medição com estas características pode ser denominado de Padrão Primário ou Sistema Primário de Medição.

2.1.1 Padrão primário para medidas de vazão

Considera-se como padrão primário para medidas de vazão a relação volume sobre tempo, sendo o volume expresso pelo peso de determinado recipiente cheio de líquido em determinada densidade. Este padrão primário é utilizado nos laboratórios de calibração e certificação de macromedidores de vazão.

Pode-se imaginar que para calibração de macromedidores de grande diâmetro são necessários grandes volumes e, portanto os recipientes para realização destes ensaios são tanques de grandes dimensões. Além dos tanques, são necessárias balanças de grande precisão para a determinação do peso da massa líquida. Por este motivo, como já mencionado, estes equipamentos só existem em laboratórios especiais.

Na impossibilidade de proceder a aferições e calibrações de instrumentos em laboratórios e considerando que muitos dos instrumentos utilizados em saneamento para medição de vazão, além de grandes dimensões, têm características de precisão associadas ao seu ponto de instalação, utilizamos neste guia a determinação de vazão por técnicas de pitometria como sendo o processo de medição que serve de referência na determinação de vazão (Padrão Primário).

2.1.2 Padrão primário para medidas de pressão

O processo padrão primário considerado neste manual para referenciar medições de pressão é a balança de peso morto. Este equipamento que será descrito em item específico é largamente utilizado e reconhecido mundialmente.

2.2 Calibração

Calibração de um instrumento é um conjunto de operações que estabelece, sob condições específicas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição considerado padrão de referência e o instrumento a ser calibrado. O processo de calibração resulta no estabelecimento dos valores e na indicação de correções a serem aplicadas ao instrumento calibrado. Equivale ao termo **Aferição**, mais comumente utilizado no saneamento.

2.3 Exatidão

Representa a possibilidade de erro esperado na medição da grandeza, sendo um erro inerente ao processo de medição utilizado. A exatidão pode ser expressa em classes de EMA (erro máximo admissível), seja em relação ao valor medido, ou, como preferem muitos fabricantes, em relação ao fundo de escala (a capacidade máxima do aparelho).

2.3.1 Exatidão expressa como EMA referido ao fundo de escala (f.e.):

Expressa o percentual máximo admitido de erro relacionado ao fundo de escala, assim, por exemplo, um medidor de vazão com escala variando de 0 e 400 m³/h e EMA de mais ou menos 2 % do fundo de escala (2 % f.e.), admite um erro de mais ou menos 8 m³/h em qualquer ponto do intervalo de medição (8 m³/h = 2 % de 400 m³/h).

2.3.2 Exatidão expressa como EMA referido ao valor instantâneo (v.i.):

O EMA - erro máximo admissível, neste caso, é expresso em percentagem do valor instantâneo (v.i.), significa que o percentual de erro admitido refere-se ao valor medido. Por exemplo, um medidor de vazão com EMA de mais ou menos 2 % de valor instantâneo (2 % v.i.) terá um erro tolerado de mais ou menos 1 m³/h, quando estiver indicando 50 m³/h ($1 \text{ m}^3/\text{h} = 2 \% \text{ de } 50 \text{ m}^3/\text{h}$).

Quando indicar 150 m³/h terá um erro tolerado de mais ou menos 3 m³/h ($3 \text{ m}^3/\text{h} = 2 \% \text{ de } 150 \text{ m}^3/\text{h}$) e assim por diante.

Percebe-se que para instrumentos de mesmo EMA percentual, aquele que indicar EMA em relação ao valor instantâneo, será mais preciso que aquele cujo EMA está expresso em termos do fundo de escala.”

2.4 Largura de faixa ou rangeabilidade

É a relação entre o valor máximo e mínimo possível de ser medido pelo equipamento com a mesma exatidão. Por exemplo, para um medidor de pressão com valor máximo de escala de 400 mca, EMA de 2 % f.e. e rangeabilidade de 10:1 significa que o EMA de 2 % de fundo de escala será respeitado na faixa de medição entre 40 mca e 400 mca ($400/10 = 40$).

Fora desta **largura de faixa** de medição, não há nenhuma garantia quanto ao erro de medição.

3. Medidores de vazão

Veremos a seguir que nenhum equipamento determina diretamente a vazão. Esta é obtida através das relações existentes entre:

– Velocidade do fluido e área da seção transversal da tubulação:

$$\text{Vazão} = \text{velocidade} \times \text{área}$$

– Volume e tempo:

$$\text{Vazão} = \text{volume} / \text{tempo}$$

Desta forma, a precisão do macromedidor relaciona-se diretamente com a precisão com a qual se determina a *velocidade* e *área* da tubulação no primeiro caso e *volume* e *tempo* no segundo caso.

Qualquer imprecisão que ocorra em um dos fatores reflete na imprecisão do equipamento.

Exemplo: Um macromedidor que tenha seu princípio de medição baseado na relação velocidade e área, caso seja instalado em local onde ocorram variações aleatórias e bruscas do perfil de velocidades (próximo a interferências), pode ter seu grau de exatidão bastante prejudicado, em nada comparável à exatidão definida pelo fabricante.

Uma característica básica dos medidores de vazão é a de possuir dois elementos distintos:

Elemento primário: é o dispositivo do medidor que se encontra diretamente em contato com o fluido, tendo como função transformar a vazão em outra grandeza física mensurável.

Elemento secundário: é o dispositivo responsável pela transformação da grandeza física obtida do elemento primário em informação adequada para leitura, seja no próprio local ou a distância.

Com estas definições, podem-se agrupar os medidores de vazão utilizados no saneamento básico nas seguintes famílias:

a) Medidores velocimétricos

Equipamentos no qual o elemento primário percebe a vazão em termos de velocidade. O elemento secundário destes medidores é um conjunto de engrenagens no qual a velocidade é contabilizada de forma a ser expressa em volume.

Alternativamente, o medidor velocimétrico pode possuir um elemento secundário que converte a velocidade em pulsos, os quais devidamente contados podem ser convertidos em volume ou vazão quando considerado o tempo. Pertencem a esta família os medidores do tipo:

- Woltmann;
- Turbina ou turboélice
- Microturbinas

b) Medidores deprimogêneos

Equipamentos no qual o elemento primário percebe a vazão em termos de diferencial de pressão. O diferencial de pressão, por sua vez, é associado com a velocidade do fluido, segundo a equação de Bernoulli. O elemento secundário destes equipamentos deve converter diferencial de pressão em valores de leitura convenientes. Pertencem a esta família os medidores do tipo:

- Tubo Pitot
- Tubo Venturi
- Placas de orifício

c) Medidores eletrônicos

Equipamentos no qual a vazão é convertida em impulsos elétricos. Pertencem a esta família, dentre outros, os seguintes tipos de medidores:

- Magnéticos
- Ultra-sônicos
- Vórtice

d) Medidores volumétricos

Equipamentos no qual a vazão é determinada pelo número de vezes em que é preenchida uma câmara de volume conhecido.

e) Medidores de canal aberto

Equipamentos nos quais a vazão é relacionada à perda de energia (ressalto hidráulico), expressa em altura de coluna de água. Pertencem a esta família, entre outros, os seguintes medidores:

- Calha Parshall
- Vertedores

A seguir serão apresentadas as características dos medidores mencionados.

3.1 Medidores velocimétricos

Baseiam-se em um rotor de várias pás montadas em ângulos (turbinas), diretamente ou perpendicularmente ao fluxo. A velocidade de rotação da turbina é proporcional à vazão. A seguir apresentam-se os modelos mais utilizados em saneamento:

3.1.1 Medidores Woltmann

Recebem esta denominação em homenagem ao Eng. Reinhard Woltmann que em 1790 introduziu o uso de molinetes nas medições de rios e canais.

O medidor do tipo Woltmann tem seu funcionamento baseado num “molinete” ou turbina instalado dentro de um conduto fechado, atuando o fluxo na direção axial em relação ao eixo do molinete.

Temos duas subclasses de medidores Woltmann:

3.1.1.1 Medidores Woltmann verticais

Possuem o eixo da turbina perpendicular ao eixo da tubulação onde está instalado. Como característica destaca-se que o fluxo ao atravessar o medidor é obrigado a fazer um movimento em forma de “S”, fenômeno este que gera

um momento sobre o eixo. Este esforço em medidor mal dimensionado causa o desgaste prematuro das partes de apoio da turbina e seu eixo.

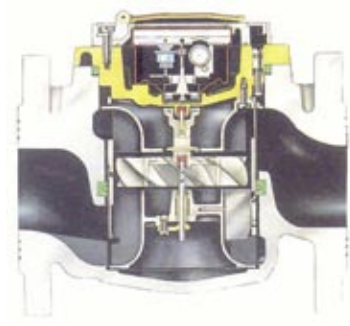


Figura 1 – Vista em corte – medidor Woltmann vertical

Temos também um tipo especial de hidrômetro Woltmann vertical, cuja carcaça forma um ângulo reto entre a entrada e saída do aparelho. Este hidrômetro é especificado para a utilização em poços.



Figura 2 – Hidrômetro Woltmann vertical para poços

3.1.1.2 Hidrômetro Woltmann horizontal

Nestes medidores o eixo da turbina é paralelo ao eixo da tubulação. Aparelhos de maior capacidade possuem a característica de poder ser removido seu *kit* de medição sem a retirada da carcaça da tubulação.



Figura 3 – Vista em corte – medidor Woltmann horizontal

3.1.1.3 Principais características dos medidores Woltmann

- Medidores verticais causam maior perda de carga relativamente aos medidores horizontais;
- Pelo fato de a turbina ocupar quase toda a área útil da tubulação, são muito sensíveis à presença de sólidos grosseiros na água;
- São menos susceptíveis às variações da curva de velocidade no ponto de instalação, porém, com curvas irregulares de velocidade, maiores esforços são gerados no eixo da turbina e seus mancais.

3.1.2 Medidores de Turbina ou Hélice

Tem semelhança construtiva com os hidrômetros Woltmann horizontais, diferindo pela forma e dimensão do elemento móvel.



Figura 4 – Vista em corte – medidor de turbina

Principais características do medidor de turbina:

- Seu elemento móvel não “preenche” toda a área útil da seção da tubulação e, portanto, é menos susceptível a presença de sólidos grosseiros no fluxo.
- Causa baixa perda de carga.
- Apresenta baixa solicitação de esforço no eixo e mancais da turbina.
- É preciso maior cuidado com a localização da instalação em função da forma da “curva de velocidade”, principalmente em tubulações de grande diâmetro.

Há medidores de turbina que permitem sua instalação e eventual manutenção com a tubulação em carga.

3.1.3 Medidores compostos

Consiste na utilização de um medidor Woltmann em paralelo com um hidrômetro de pequena capacidade. Estes aparelhos possuem uma válvula que, a baixas vazões, se fecha automaticamente, desviando toda a água do medidor Woltmann para o pequeno medidor.



Figura 5 – Medidor composto

Principais características do medidor composto:

- Utilização para ramais de consumo de grandes volumes com grande variação de vazão.
- O volume registrado pelo aparelho é a soma dos volumes registrados nos dois medidores.
- Necessidade de manutenção periódica na válvula de controle de fluxo.

3.1.4 Medidores proporcionais ou “Shunt”

Seu princípio de medição baseia-se na proporcionalidade existente entre a quantidade de água que atravessa uma tubulação principal e a que atravessa uma derivação onde existe um medidor de pequena capacidade.



Figura 6 – Medidor proporcional

Principais características do medidor proporcional:

- Geralmente é utilizado para medições de volumes não contínuos como o abastecimento de embarcações e irrigação, por ser de fácil transporte e instalação.
- Custo reduzido.
- Precisão baixa.
- É uma importante alternativa para medições de baixo custo, porém necessitando de aferições periódicas mais freqüentes.

3.1.5 Características construtivas dos macromedidores velocimétricos

Em geral os macromedidores velocimétricos permitem a transmissão de sinais para indicadores situados a distância do ponto de instalação. Por este fato, alguns aparelhos não possuem mostrador incorporado ao medidor.

Dependendo da capacidade do medidor, a indicação de sua relojoaria deve ser multiplicada por 10 ou 100. Caso haja esta necessidade, há esta indicação no mostrador do equipamento.

Obs.: Esta é uma característica de suma importância no processo de leitura para fins de faturamento. Inconsistências podem surgir a partir da seguinte dúvida: o leitorista deve anotar a leitura já multiplicada pelo fator ou esta multiplicação é realizada pelo sistema comercial?

3.1.6 Características de precisão e dimensionamento

3.1.6.1 Hidrômetros Woltmann

O gráfico a seguir apresenta a curva típica de erro dos medidores velocimétricos do tipo Woltmann. Nota-se que é semelhante à curva de erro dos medidores domiciliares.

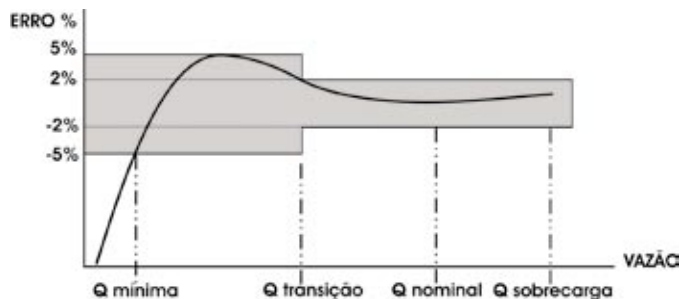


Figura 7 – Curva típica de erros dos medidores Woltmann

Pode-se observar que é característica deste tipo de medidores a existência de dois campos de medição:

- Campo inferior de medição: intervalo das vazões compreendidas entre a vazão mínima e a vazão de transição para o qual a medição pode apresentar erros situados entre $\pm 5\%$ do valor instantâneo (v.i.).

- Campo superior de medição: intervalo de vazões superiores a de transição até a vazão de sobrecarga para o qual a medição apresenta erro admissível de $\pm 2\%$ v.i.

Observando a curva de erro apresentada, pode-se definir como critérios básicos para dimensionamento de medidores velocimétricos Woltmann as seguintes considerações:

O medidor deve ser dimensionado de maneira a funcionar sempre nas vazões do campo superior de medição. É aconselhável que a vazão máxima de funcionamento seja próximo a 70 % da vazão nominal, evitando-se assim desgaste excessivo do aparelho.

Deve-se observar que, por definição, a vazão de sobrecarga somente pode ser atingida durante curto período de tempo, sob risco de se danificar o mecanismo de medição.

3.1.6.2 Hidrômetro de turbina ou hélice

Estes medidores apresentam como característica de funcionamento o desvio de medição de $\pm 2\%$ no intervalo de velocidades de escoamento de 0,3 m/s a 3,0 m/s.

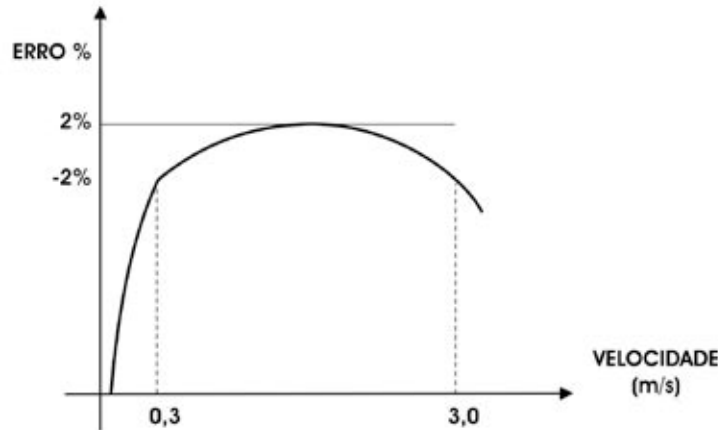


Figura 8 – Curva típica de erro do hidrômetro de hélice

A única observação para o dimensionamento deste medidor é que a velocidade do fluxo situe-se entre 0,3 e 3 m/s.

A tabela a seguir apresenta para alguns diâmetros de tubulação as vazões para as quais a velocidade situa-se dentro do intervalo de medição deste equipamento.

DIÂMETRO	VELOCIDADE = 0,3 m/s	VELOCIDADE = 3,0 m/s
150	5 L/s	53 L/s
200	9 L/s	94 L/s
250	15 L/s	147 L/s
300	21 L/s	212 L/s
350	29 L/s	289 L/s
400	38 L/s	377 L/s
450	48 L/s	477 L/s
500	59 L/s	589 L/s

Para poder garantir este intervalo de vazão, principalmente a velocidade mínima, pode-se reduzir o diâmetro da tubulação, instalando o medidor entre duas reduções.

Nas tubulações de grande diâmetro, a conformação da curva de velocidades passa a influenciar na precisão da medição e no balanço de esforços na turbina ou molinete do equipamento. Por esta razão, para a instalação de macromedidores de hélice os fabricantes recomendam as seguintes distâncias mínimas:

PEÇA A MONTANTE	DISTÂNCIA MÍNIMA (em relação ao diâmetro da tubulação)
Luva (Junta)	5 x D
Redução ou ampliação	5 x D
Curva	12 x D
Registro de gaveta (aberto) 2 curvas em sequência	25 x D

A experiência mostra que, em determinados casos, as distâncias recomendadas não são suficientes para garantir a precisão nas medidas. Por este fato é recomendável que a determinação do local de instalação de um macromedi-

dor de hélice em unidades operacionais seja precedida por um minucioso levantamento pitométrico no local onde se pretende instalar o medidor. Ademais, recomenda-se que a aferição e calibração de macromedidores de grande diâmetro sejam feitas em campo por meio de pitometria. Para tanto, há a necessidade de instalação de uma estação pitométrica proximamente ao aparelho.

3.1.6.3 Medidores de microturbina

São medidores no qual é inserida uma pequena turbina, na ponta de uma haste projetada no interior da tubulação a medir.



Figura 9 – Macromedidor do tipo microturbina

Por suas características, mede a velocidade pontual de uma corrente de fluxo e a vazão é calculada multiplicando-se a área da tubulação pela velocidade medida, corrigida por uma constante.

Em decorrência do perfil de velocidades que ocorre no interior da tubulação, valores diferentes de velocidade são obtidos conforme o ponto da seção.

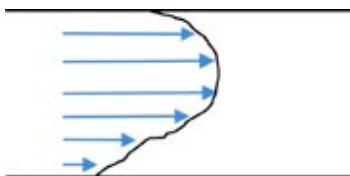


Figura 10 – Curva de velocidades em uma tubulação

É fácil compreender que, dependendo do ponto de penetração do equipamento, a velocidade medida não representa a velocidade média da secção. Caso uma seção aleatória seja utilizada para a obtenção da vazão ($\text{Vazão} = \text{Velocidade} \times \text{Área}$), erros grosseiros podem ser cometidos.

No caso de uma curva de velocidades que tenha perfil perfeitamente simétrico e parabólico, pode-se determinar teoricamente que o ponto situado a $0,7$ do raio, medido a partir do eixo central da tubulação, representa a velocidade média. Porém, estas condições de curva de velocidade dificilmente são atingidas em situações reais de campo. As recomendações sobre o ponto de instalação (penetração) do equipamento feitas pelos fabricantes estão baseados nesta premissa de curva ideal.

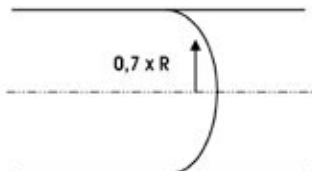


Figura 11 – Ponto representativo da velocidade média (em condições especiais)

A distribuição de velocidades simétricas é observada somente quando existe trecho reto relativamente grande antes do ponto de levantamento da curva de velocidades na seção (da ordem de 30 a 100 vezes o diâmetro da tubulação).

Pelas razões expostas, a instalação deste tipo de medidor deve ser precedida de rigoroso levantamento do perfil da curva de velocidades no local de instalação e somente após criteriosa análise do perfil de velocidades escolher-se o ponto de instalação/inserção do equipamento.

3.1.7 Observações gerais quanto aos medidores velocimétricos

- **Presença de impurezas.** Os medidores do tipo Woltmann são sensíveis à presença de partículas sólidas no líquido, portanto são extremamente desaconselháveis para medições em água bruta.
- **Influência do golpe de aríete.** Medidas precisas de vazão em líquidos somente são possíveis para escoamento estacionário. Em uma rede de abastecimento ocorrem acelerações e desacelerações repentinas, resultando na formação e propagação de ondas de choque. O fechamento brusco de uma válvula, a partida e a parada de bombas pode resultar nesta onda de choque – o golpe de aríete – com uma conseqüente sobrecarga sobre os componentes do medidor e, depois de repetidas sobrecargas, desgaste prematuro do aparelho.
- **Facilidade para montagem/desmontagem.** Cuidados especiais devem ser tomados no sentido de facilitar a instalação e retirada de aparelhos de grande diâmetro. Aconselha-se a utilização de juntas Gibault ou mecânicas a montante e a jusante do aparelho. Da mesma forma, aconselha-se abrigos de dimensões adequadas para permitir o manuseio dos aparelhos.
- **Condições de manutenção.** Medidores velocimétricos exigem manutenção e verificação constante de seus mecanismos móveis (no mínimo a cada ano). Para possibilitar sua desmontagem, devem ser instalados válvulas e registros que permitam seu isolamento da linha. É comum a existência de medidores velocimétricos que, pela forma como foram instalados, dificulta ou impede sua manutenção, dada a necessidade de parada total do sistema e esvaziamento de redes, adutoras e mesmo reservatórios. Por esta razão é altamente recomendado que medidores velocimétricos sejam instalados em linhas providas de “by-pass”, de modo a assegurar sua manutenção sem necessidade de paralisar o funcionamento da linha.
- **Instalação e manutenção com a linha em carga.** Alguns modelos de medidores velocimétricos de hélice permitem sua instalação e posterior manutenção com a tubulação em carga, sendo esta uma grande vantagem destes modelos.

3.2 Macromedidores deprimogêneos

A melhor forma de compreender o funcionamento dos medidores deprimogêneos é pela aplicação da Equação de Bernoulli entre dois pontos, entre os quais tenha sido inserida uma perda de carga.



$$\frac{V_a}{2g} + \frac{P_a}{\gamma} + Z_a = \frac{V_b}{2g} + \frac{P_b}{\gamma} + Z_b + \Delta H_f$$

Supondo-se que os pontos A e B tenham a mesma cota e estejam suficientemente próximos, a diferença de pressão entre eles será proporcional apenas à diferença de velocidades médias do fluxo em A e B.

Nos medidores deprimogêneos, a determinação do volume de fluido que atravessa uma secção conhecida é feita por meio da medição do diferencial de pressão entre dois pontos.

A equação de Bernoulli foi formulada considerando velocidades médias nas seções transversais. Entretanto, como já foi visto, cada seção distinta de uma tubulação pode apresentar variações em sua curva de velocidades. Por esta razão, deve-se aplicar coeficientes de correção à equação de Bernoulli quando se utiliza medidores deprimogêneos.

Estes coeficientes de correção são determinados em laboratório, em geral sendo motivo de exaustivos ensaios. Com a aplicação do coeficiente de correção, formula-se a equação geral dos medidores deprimogêneos:

$$Q = K \times \sqrt{\Delta P}$$

Onde:

Q = Vazão

K = constante do medidor

ΔP = Diferencial de pressão

O valor da constante “K” engloba correções devidas à seção de escoamento, aceleração da gravidade, deformações da curva de velocidades, perdas de carga no interior do medidor entre outras.

Esta constante é determinada em laboratórios ou em ensaios em campo.

Dentre os principais medidores deprimogêneos destacam-se:

3.2.1 Placa de orifício

O diferencial de pressão é formado pela passagem do fluido através de um orifício feito em uma placa.

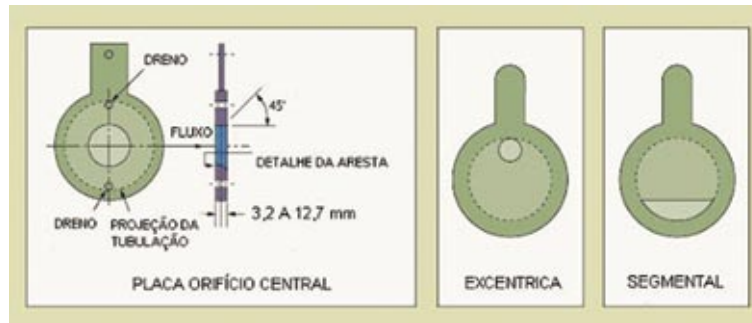


Figura 12 – Placa de orifício

Medidores deprimogêneos são bastante influenciados pelo perfil de velocidades e por esta razão cuidados devem ser tomados para que sua instalação seja afastada de peças que causem turbulências no fluxo.

Em geral, as distâncias que devem ser observadas a montante e jusante do medidor são as seguintes:

PEÇA A MONTANTE	MONTANTE	JUSANTE
Uma só mudança de direção (curva, T, Y)	17 D	4,5 D
Duas mudanças de direção no mesmo plano (duas curvas)	22 D	4,5 D
Redução ou ampliação	13,5 D	4,5 D
Válvula (excetuando registro de gaveta totalmente aberto)	44 D	4,5 D

Vantagens

- Custo do equipamento e instalação bastante reduzido;
- Não necessita de manutenção;
- Apresenta grande precisão quando corretamente dimensionada.

Desvantagens

- introduz grande perda de carga nas tubulações;
- apresenta reduzida rangeabilidade (largura de faixa);
- necessita de equipamentos acessórios (secundário) para detecção e registro dos diferenciais de pressão.

Exatidão

A exatidão das placas de orifício varia conforme os critérios de projeto utilizados, podendo variar de um EMA de 0,5 % fe até 4 % fe, ao longo de sua faixa de medição que é definida quando do seu projeto.

É também definido em projeto o valor do diferencial de pressão esperado, que apresenta relação direta com o diâmetro do furo.

3.2.2 Tubos Venturi

Nos tubos Venturi o diferencial de pressão é provocado pelo acréscimo de velocidade quando o fluido atravessa uma seção de diâmetro reduzido em relação a uma seção de montante.

Há uma variedade de modelos de tubo Venturi, cada qual com desenhos diferentes dos trechos de diâmetro reduzido, mas basicamente todos apresentam as mesmas características.

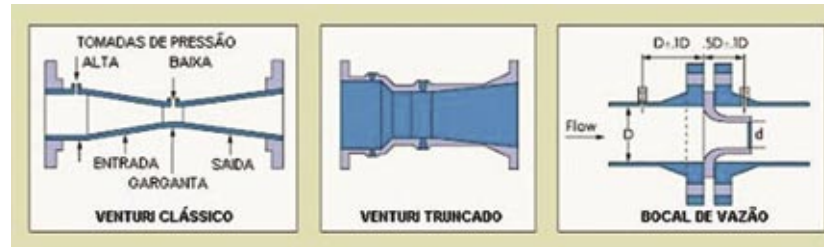


Figura 13 – Diferentes modelos de tubos Venturi

Analogamente às placas de orifício, os tubos Venturi têm os valores de sua constante “K” tabeladas em acordo com suas dimensões e formas de construção. A constante de um tubo Venturi pode ser determinada em campo por meio das técnicas de pitometria.

Instalação

Tubos Venturi são instalados como qualquer outra peça de tubulação, podendo ser flangeados ou, na instalação em tubulações existente, entre juntas de montagem (gibault, mecânicas ou mesmo luvas de correr).

O tubo Venturi é menos sensível ao perfil de velocidades da seção. Mesmo assim, deve ser instalado com os seguintes afastamentos de peças que podem causar turbulência no fluxo:

PEÇA A MONTANTE	MONTANTE	JUSANTE
Uma só mudança de direção (curva, T, Y)	4 D	2 D
Duas mudanças de direção no mesmo plano (duas curvas)	4 D	2 D
Redução ou Ampliação	8 D	2 D
Válvula (excetuando registro de gaveta totalmente aberto)	6 D	2 D

Vantagens

- Não necessita de manutenção;
- Apresenta grande exatidão quando corretamente dimensionado.

Desvantagens

- Necessita de equipamentos acessórios (secundário) para detecção e registro dos diferenciais de pressão;
- Apresenta reduzida rangeabilidade (largura de faixa).

Precisão do tubo Venturi

Analogamente às placas de orifício, a exatidão de tubos Venturi está diretamente relacionada ao seu projeto e cuidados construtivos, variando de valores de 1 % f.e. até 4 % v.i..

3.2.3 Tubo Pitot

O tubo Pitot é um instrumento deprimogêneo com a característica de medição de velocidades pontuais. Por esta razão, as mesmas considerações feitas para o medidor de microturbina são aplicáveis ao tubo Pitot. Assim, as técnicas de pitometria envolvem várias ações, desde a determinação do diâmetro real da tubulação até o traçado da curva de velocidades.



Figura 14 – Tubo Pitot

As técnicas de determinação de velocidades e realização de ensaios com este instrumento foi motivo de um manual específico denominado **Guia Prático de Ensaios Pitométricos**, também patrocinado pelo PMSS e PNCDA, disponível no site www.cidades.gov.br/pncda.

É importante ressaltar que pelas características de operação deste equipamento e baixo custo, ele é utilizado como equipamento de referência para aferições e calibrações de diversos tipos de macromedidores, permitindo avaliar diversos fatores que afetam a precisão de equipamentos de medição em funcionamento no campo, quais sejam:

- Presença de ar na tubulação;
- Verificação do pleno enchimento da tubulação;
- Levantamento do perfil de velocidades na tubulação.

3.3 Medidores eletrônicos

Estes medidores são caracterizados pela presença de componentes eletrônicos bastante desenvolvidos como base de seus sistemas de medições.

3.3.1 Macromedidores magnéticos

O princípio básico dos medidores magnéticos é semelhante ao de um gerador elétrico. De acordo com as leis de Faraday, o movimento de um fluido condutor atravessando um campo magnético induz uma tensão na direção normal à do campo magnético e à direção média das partículas do fluido.

De acordo com Faraday, a tensão induzida por um condutor em movimento num campo magnético é dada pela seguinte fórmula:

$$t = B \times L \times V$$

Onde:

- t = Tensão
- B = Densidade do fluido
- L = Distância entre os eletrodos
- V = Velocidade do fluido

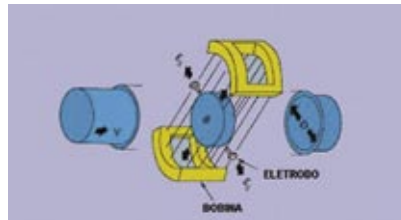


Figura 15 – Princípio de funcionamento macromedidor de vazão magnético

O medidor magnético contém um par de bobinas magnéticas situadas em volta do tubo. Um par de eletrodos encontra-se em contato com o fluido. Sendo a distância entre os eletrodos conhecida, a tensão que se forma entre os eletrodos é diretamente proporcional à velocidade do fluido.

Esta tensão é pequena, da ordem de milivolts. Por esta razão os cabos de sinal do medidor eletromagnético são de construção especial e devem ser fornecidos pelo próprio fabricante, que deve ser informado sobre as distâncias entre o tubo e o elemento eletrônico que registra o sinal.

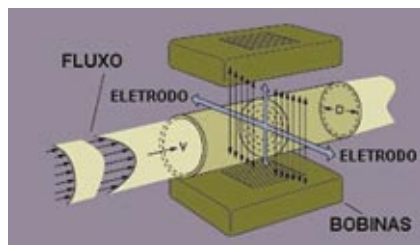


Figura. 16 – Funcionamento do macromedidor magnético

A bobina do medidor magnético não deve estar exposta a esforços. Recomenda-se que o medidor seja instalado entre juntas mecânicas de forma que estas absorvam as tensões provenientes da dilatação/retração da tubulação.

O medidor magnético é muito sensível à presença de ar dissolvido na água, por esta razão deve-se verificar a presença do mesmo no local de instalação.

É de suma importância que a tubulação fique permanentemente cheia no local de instalação do medidor magnético. Em condutos forçados esta observação pode parecer desnecessária, mas é relativamente comum a existência de bolsões de ar em adutoras, impedindo o seu enchimento total.

Deve-se instalar o medidor respeitando-se a distância mínima de 10 vezes o diâmetro da tubulação em relação a qualquer interferência presente a montante do medidor.

É extremamente necessário que haja um perfeito aterramento elétrico do equipamento como forma de prevenir que correntes parasitárias interfiram nas medidas. O aterramento deve possuir resistência inferior a 6 ohms.

O aterramento deve incluir o medidor, a tubulação e o líquido, garantindo a equalização de potencial e a eliminação de cargas espúrias.

Exatidão

Medidores magnéticos quando **corretamente instalados e aterrados** apresentam EMA na faixa de 0,5 % v.i., nas velocidades de fluxo acima de 0,3 m/s.

Vantagens

- Medidores magnéticos apresentam grande precisão;
- Não possuem peças móveis, sendo desnecessária a manutenção no tubo.

Desvantagens

- Grande cuidado deve ser dado à instalação elétrica e aterramento do medidor;
- Necessita de fonte de energia próxima.

Dada a quase ausência de necessidade de manutenção no tubo do medidor (elemento primário), há quem recomende que ele seja enterrado. Não é aconselhável esta prática. Dificilmente ocorrerão casos em que seja necessária a remoção do tubo, porém são comuns problemas com contatos da fiação que se encontra na “cabeça” do medidor (presença de umidade ou mesmo falha de conexão). Por esta razão, a menos que seja plenamente garantido o isolamento de umidade e a perfeição das conexões, deve ser preservado fácil acesso à “cabeça” do medidor.

3.3.2 Sondas magnéticas

O mesmo princípio de funcionamento dos medidores magnéticos é utilizado nas sondas, as quais podem ser inseridas em registros de derivação de 1” (conhecidos como taps, imprescindíveis nas medições pitométricas) e, portanto, instalados com a tubulação em carga.

Estas sondas apresentam características semelhantes ao tubo Pitot, sendo passíveis de serem utilizadas em medições de vazão discretas (não permanentes).



Figura 17 – Aspecto da sonda magnética

Estas sondas são instaladas em registros de derivação de 1” (taps), com a tubulação em carga. As mesmas observações feitas quanto ao perfil da curva de velocidades para o medidor de microturbina devem ser consideradas quando da utilização da sonda magnética.

Vantagens

- Medidores magnéticos apresentam grande exatidão;
- Seu custo independe do diâmetro da tubulação;
- Baixo custo de instalação.

Desvantagens

- Grande cuidado deve ser dado à instalação elétrica e aterramento do medidor;
- Necessita de fonte de energia próxima.

3.3.3 Macromedidores ultra-sônicos

Em 1842, Christian Doppler descobriu que se uma fonte de som se move em direção ao ouvinte, a frequência do som parecerá mais alta para ele. Se a fonte de som se move afastando-se do ouvinte, a frequência sonora parecerá mais baixa.



Figura 18 – Aspecto de um medidor ultra-sônico

Este princípio é utilizado pelos medidores ultra-sônicos, em duas formas distintas.

3.3.3.1 Medidores de efeito doppler

O efeito doppler se dá pela variação de frequência que ocorre quando as ondas de som são refletidas pelas partículas móveis do fluido. Por esta razão, estes instrumentos são mais adequados para medir vazão de fluidos que contenham partículas capazes de refletir ondas acústicas, como água bruta, por exemplo.

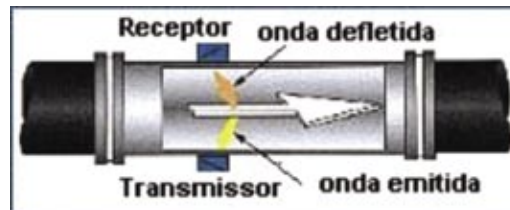


Figura 19 – Funcionamento de um medidor de efeito doppler

A velocidade do fluido é obtida mediante uma relação direta entre a frequência do som que é emitido e o que é captado. Em geral utiliza-se a frequência de 0,6 a 1,2 MHz.

3.3.3.2 Medidores de Tempo de Trânsito

Nestes medidores, um transdutor-emissor-receptor de ultra-sons é fixado à parte externa do tubo, ao longo de duas geratrizes diametralmente opostas. O eixo que reúne os emissores-receptores forma com o eixo da tubulação um determinado ângulo X.

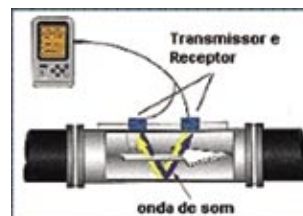


Figura 20 – Funcionamento de um medidor de tempo de trânsito

Os transdutores transmitem e recebem alternadamente um trem de ondas ultra-sônicas de pequena duração. O tempo de transmissão-recepção é alterado em função da velocidade do líquido conforme a equação abaixo:

$$1 / T = \frac{V_s - V_l \times \cos(X)}{L}$$

Onde:

T = Tempo de transmissão-recepção
 Vs = Velocidade do som
 Vl = Velocidade média do líquido
 L = Distância entre os sensores

As características de propagação e absorção de som variam conforme os materiais. Por esta razão, os diferentes materiais utilizados em tubulações exigem ajustes específicos no instrumento. Da mesma forma, a presença de incrustações nas tubulações altera as características de propagação de som.

A perfeita caracterização da espessura do tubo e a existência de incrustações são necessárias para o correto ajuste do equipamento sob pena de afetar a precisão das medidas em até 20 %.

Os medidores ultra-sônicos são bastante afetados pela conformidade da curva de velocidades, exigindo sua instalação distâncias de 20 a 30 vezes o diâmetro da tubulação de qualquer interferência. São instalados externamente à tubulação, devendo as superfícies de contato dos eletrodos serem raspadas, removendo-se incrustações.

Os modelos utilizados atualmente incorporam no mesmo instrumento tanto medições pelo princípio do efeito doppler quanto pelo princípio de tempo de trânsito, podendo assim ser instalado nas seguintes configurações:



Figura 21 – Formas de posicionamento das sondas de medidor ultra-sônico

Exatidão

Quando bem instalados e estando devidamente determinada a espessura da tubulação, na ausência de incrustações na tubulação, estes equipamentos possuem EMA de 5 % f.e.

Atualmente, desenvolvimentos na eletrônica e compensações por algoritmos matemáticos programados têm elevado a precisão de tais instrumentos.

3.4 Medidores volumétricos

O princípio de funcionamento destes aparelhos consiste na passagem do fluido através de câmaras de volume perfeitamente conhecido. O próprio fluido faz a movimentação destas câmaras, sendo o volume obtido por mecanismos que fazem a contagem do número de vezes que as câmaras se enchem e esvaziam.



Figura 22 – Aspecto de um medidor de vazão do tipo volumétrico

Existem vários modelos deste tipo de medidor, conforme o desenho e disposição das câmaras de medida. Basicamente os seguintes modelos são utilizados no saneamento:

3.4.1 Medidores de disco nutativo

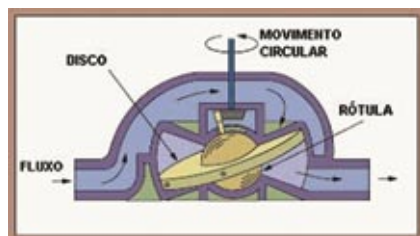


Figura 23 – Medidor volumétrico de disco nutativo

No medidor de disco nutativo, a peça móvel é um disco com um rasgo radial que tem no seu centro uma esfera e um pino axial. Quando o líquido entra no medidor força o disco a realizar a movimentação denominada de nutação. O pino superior exerce um movimento de rotação sendo o seu número de giros proporcional ao volume de fluido escoado.

3.4.2 Medidores de pistão oscilante

Neste modelo de medidor, o fluido é forçado a escoar entre uma série de câmaras, entre as quais se move um anel que, dependendo de sua posição, força o enchimento ou o esvaziamento das câmaras. O número de voltas deste anel é proporcional ao volume de fluido escoado.



Figura 24 – Medidor volumétrico de pistão oscilante

3.4.3 Medidores de engrenagem

Neste medidor, um conjunto de engrenagens é montado de forma que o fluxo force sua movimentação. O número de rotações das engrenagens é proporcional ao volume de fluido escoado.

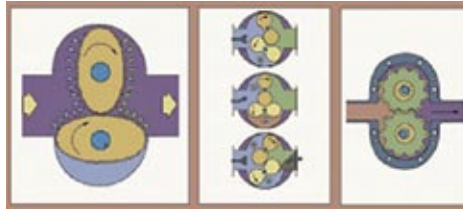


Figura 25 – Medidor volumétrico de engrenagens

Este tipo de medidor volumétrico é muito utilizado na medição de fluidos viscosos. Em geral é utilizado nas bombas de combustível.

3.4.4 Características dos medidores volumétricos

Pelas características de funcionamento destes medidores, são sensíveis à presença de partículas sólidas no fluido, que causam desgaste por abrasão da câmara de medição e, dependendo de suas dimensões, pode provocar o travamento do mecanismo.

Os medidores volumétricos apresentam grande exatidão, decrescente com o tempo, na medida em que haja o desgaste e folgas na câmara de medição.

Medidores volumétricos podem ser instalados em qualquer posição na tubulação e, por não dependerem de interferência do perfil de velocidades na seção, não necessitam do distanciamento de qualquer peça.

Exatidão

Medidores volumétricos apresentam EMA típico de 0,5 % v.i., sendo influenciada diretamente pela presença de partículas sólidas no fluido.

Vantagens

- Apresentam grande exatidão
- Não necessitam de fornecimento externo de energia
- Podem ser instalados em qualquer posição e na ausência de trechos retos e/ou com interferências.

Desvantagens

- Necessitam de equipamentos acessórios para indicação de vazão instantânea;
- Necessitam de líquidos limpos com ausência de partículas sólidas;
- Causam grande perda de carga;
- Custo elevado de manutenção (substituição de toda a câmara de medição);
- Poucas experiências de utilização no Brasil.

3.5 Calhas Parshall

Dentre os medidores de canal aberto, o mais utilizado no saneamento é, sem dúvida, a calha Parshall.

Este equipamento foi desenvolvido por R. L. Parshall, em cooperação com o Departamento de Irrigação dos Estados Unidos. A calha Parshall é um tipo de Venturi, consistindo em um canal de entrada com convergência das paredes e base; uma garganta com paredes paralelas e base inclinada para baixo e um canal de saída com paredes divergentes e base inclinada para cima.

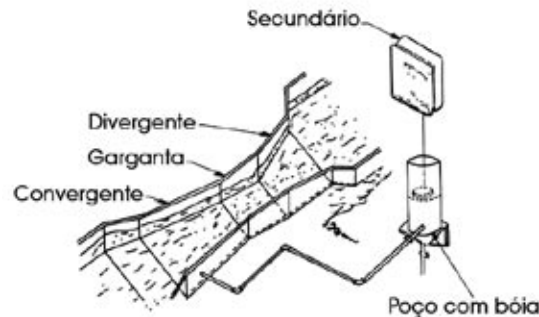


Figura 26 – Conformação de uma calha Parshall

Na grande maioria das Estações de Tratamento de Água projetadas e construídas no Brasil, quase que por exigência, a medição de água bruta é realizada por este medidor.

Embora existam no mercado empresas especializadas no projeto e execução de calhas Parshall, muitos equipamentos existentes foram moldados em campo, em geral aproveitando-se a execução do canal de entrada da adução da estação de tratamento inserindo-a como uma continuação das paredes do mesmo.

Este instrumento de medição é bastante confiável e de baixo custo. Com os cuidados devidos relativos à sua aferição e calibração, oferece bons índices de precisão, em geral não apresentando variações ao longo no tempo. Entretanto, recomenda-se proceder à aferição de rotina a cada ano e ao levantamento completo da curva de medição a cada três anos.

3.5.1 Principais dimensões

O esquema e tabela a seguir descrevem as principais dimensões deste medidor, conforme padronizado e ensaiado pelo seu criador. As dimensões originais referem-se a medidas inglesas, as quais foram aqui convertidas. A denominação da calha, por convenção, é realizada através da medida da garganta, em geral sendo referenciada em polegadas, na tabela expressa com a denominação Wn.

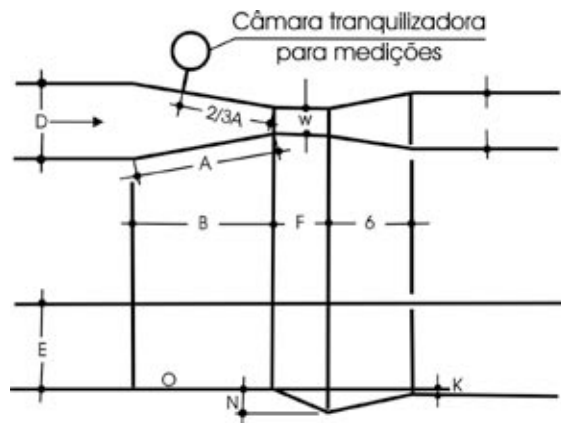


Figura 27 – Características dimensionais da calha Parshall, segundo Parshall

TABELA DE DIMENSÕES DA CALHA PARSHALL, E VAZÕES RESPECTIVAS, EM FUNÇÃO DA LARGURA DA GARGANTA

Wn	W	A	B	C	D	E	F	G	K	N	Qmin	Qmax
POL	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	L/s	L/s
3	7,6	46,7	45,7	17,8	17,8	61,0	15,2	30,5	2,5	5,7	1	54
6	15,2	62,1	61,0	39,4	39,4	61,0	30,5	61,0	7,6	11,4	1	110
9	22,9	87,9	86,4	38,1	38,1	76,2	30,5	45,7	7,6	11,4	3	252
12	30,5	137,2	134,3	61,0	61,0	91,4	61,0	91,4	7,6	22,9	3	456
18	45,7	144,8	141,9	76,2	76,2	91,4	61,0	91,4	7,6	22,9	4	697
24	61,0	152,4	149,5	91,4	91,4	91,4	61,0	91,4	7,6	22,9	12	937
36	91,4	167,6	164,5	121,9	121,9	91,4	61,0	91,4	7,6	22,9	17	1427
48	121,9	182,9	179,4	152,4	152,4	91,4	61,0	91,4	7,6	22,9	37	1923
60	152,4	198,1	194,3	182,9	182,9	91,4	61,0	91,4	7,6	22,9	45	2424
72	182,9	213,4	209,2	213,4	213,4	91,4	61,0	91,4	7,6	22,9	74	2931
84	213,4	228,6	224,2	243,8	243,8	91,4	61,0	91,4	7,6	22,9	85	3438
96	243,8	243,8	239,1	274,3	274,3	91,4	61,0	91,4	7,6	22,9	99	3950
120	304,8	435,0	426,7	365,8	365,8	121,9	91,4	182,9	15,2	34,3	170	5663
144	365,8	497,2	487,7	447,0	447,0	152,4	91,4	243,8	15,2	34,3	227	9911
180	457,2	777,2	762,0	558,8	558,8	182,9	121,9	304,8	22,9	45,7	227	16990
240	609,6	777,2	762,0	731,5	731,5	213,4	182,9	365,8	30,5	68,6	283	28317
300	762,0	777,2	762,0	894,1	894,1	213,4	182,9	396,2	30,5	68,6	425	33980
360	914,4	809,6	792,5	1056,6	1056,6	213,4	182,9	426,7	30,5	68,6	425	42475
480	1219,2	842,0	823,0	1381,8	1381,8	213,4	182,9	487,7	30,5	68,6	566	56634
600	1524,0	842,0	823,0	1727,2	1727,2	213,4	182,9	609,6	30,5	68,6	708	84951

3.5.2 Equação típica

A equação típica da calha Parshall é exponencial e representada pela seguinte fórmula genérica:

$$Q = K \times H^n$$

Onde:

Q = vazão (cuja unidade depende de K)
 K = constante
 H = altura (medida a 2/3 de A)
 n = constante

Como exemplo, para calhas executadas rigorosamente conforme as dimensões apresentadas, temos as seguintes equações:

Calha de 3'': $Q = 0,992 \times H^{1,547}$

Calha de 6'': $Q = 2,06 \times H^{1,58}$

Calha de 9'': $Q = 3,07 \times H^{1,53}$

Observação:

Wn e H em pés e Q em pés cúbicos por segundo

3.5.3 Exatidão

Calhas Parshall e vertedores em geral apresentam tipicamente o EMA de +/- 2 a 4 % v.i.

A exatidão de calhas Parshall está muito associada a sua submergência, que é expressa pela relação entre os níveis de água na garganta (H) e na seção convergente (H_2).

A relação H_2 / H , expressa em %, é chamada de submersão ou afogamento. Uma submersão de 60 % (para calhas até 9'') e 70 % para as demais, não afeta as condições de escoamento. Valores superiores indicam que perturbações

ocorridas a jusante do medidor se propagam a montante. Nestas condições, a calha Parshall é denominada de afogada e a vazão real será inferior àquela que se obteria pelo emprego da fórmula $Q = K \times H^n$.

Para a determinação da vazão em calhas afogadas, será necessária e indispensável a aplicação de um fator de correção. Obstáculos ou falta de declividade a jusante são causas freqüentes de afogamento das calhas.

3.5.4 Vantagens

- Não necessitam de fornecimento externo de energia;
- São equipamentos de baixo custo;
- Não necessitam de manutenção freqüente, limitando-se à limpeza de seus canais;
- Permitem a medição de líquidos com sólidos dissolvidos.

3.5.5 Desvantagens

- Necessitam da existência de canais de entrada nas Estações de Tratamento de Água.

4. Medidores de pressão

A pressão é expressa como sendo a relação entre a força exercida perpendicularmente a uma superfície e a área desta superfície.

A pressão pode ser expressa de duas formas:

- Pressão absoluta, onde o ponto de referência (zero da escala) representa a ausência total de pressão, ou vácuo.
- Pressão relativa, onde o ponto de referência (zero da escala) é o valor da pressão atmosférica local.

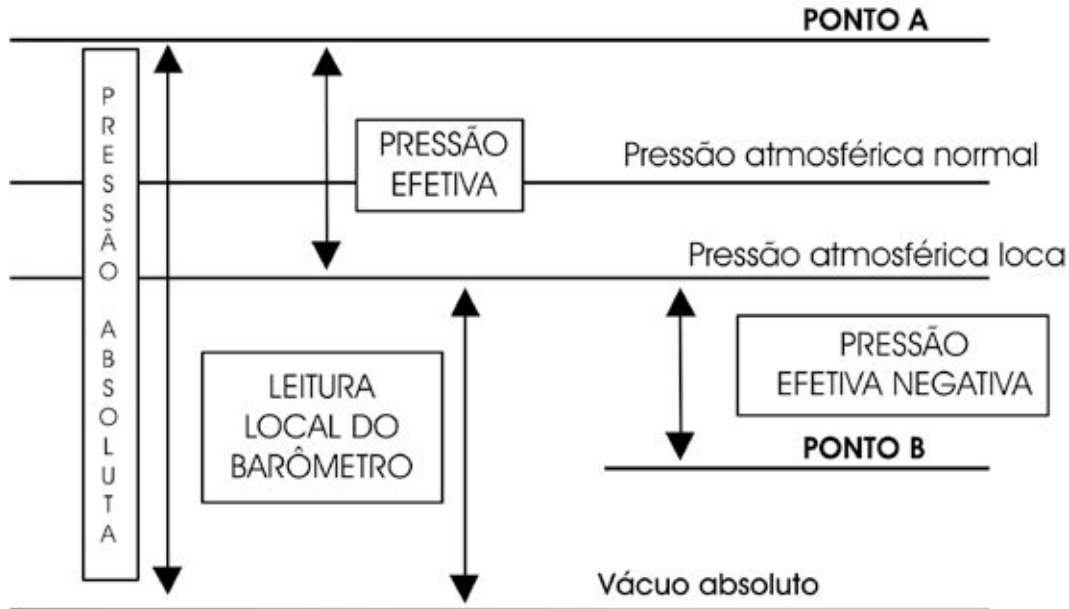


Figura 28 – Pressões absolutas e relativas

Várias unidades são utilizadas para representar a pressão, sendo as principais descritas a seguir:

$$1 \text{ kgf/cm}^2$$

corresponde a:

$$\begin{aligned} &= 0,9807 \text{ bar} \\ &= 73,56 \text{ cm de Hg} \\ &= 10.000 \text{ kgf/m}^2 \\ &= 98066,5 \text{ Pa} \\ &= 14,2233 \text{ psi} \\ &= 0,96784 \text{ atm} \\ &= 10 \text{ mca} \end{aligned}$$

Há vários tipos de medidores de pressão, de acordo com seu princípio de funcionamento. A mais simples forma de medição de pressão é o manômetro de coluna, dentre os quais se destaca o tubo “U”.

4.1 Manômetros de coluna – tubo “U”

O manômetro de coluna consiste de um tubo de vidro, em geral na forma de “U”, contendo em seu interior um líquido com densidade específica para cada aplicação – líquido pitométrico ou manométrico.

Quando se deseja medir pressão absoluta, em uma das extremidades do tubo faz-se o vácuo, sendo no outro extremo aplicada a pressão que se deseja medir (Figura 29-A).

Quando se deseja medir a pressão manométrica, uma das extremidades do tubo é aberta (pressão atmosférica) sendo na outra extremidade aplicada a pressão a medir (Figura 29-B).

Para medição de pressão diferencial, em ambos os extremos do tubo são aplicadas pressões, sendo a deflexão observada a medida do diferencial (Figura 29-C).

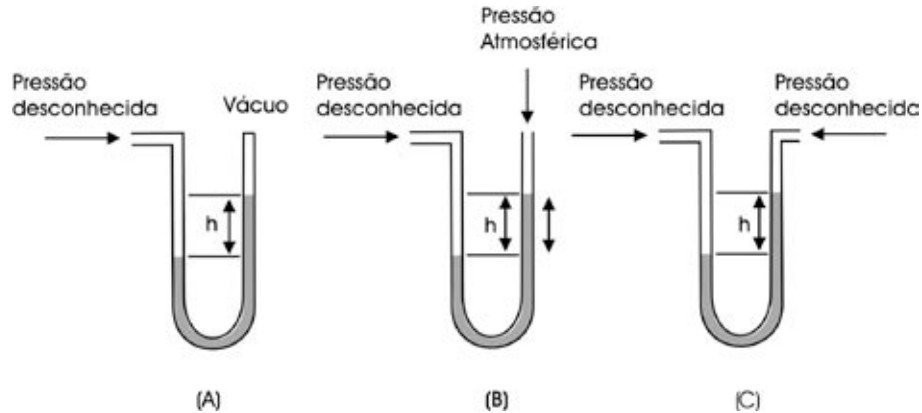


Figura 29 – Formas de utilização do tubo “U”

4.1.1 Procedimentos de cálculo

Na Figura 29-A: $P = \rho \times g \times h$

Na Figura 29-B: $P = \rho \times g \times h + P_{atm}$

Na Figura 29-C: $P_1 - P_2 = \rho \times g \times h$

Onde:

- P = pressão a ser conhecida;
- ρ = densidade do líquido utilizado no tubo “U”;
- g = aceleração da gravidade;
- h = distância entre os meniscos do líquido;
- P_{atm} = pressão atmosférica local

A faixa de utilização deste tipo de manômetro é bastante extensa, bastando utilizar líquidos pitométricos (ou manométricos) de densidade adequada à medição que se quer realizar. Líquidos pitométricos são disponíveis com densidade de 1,11 até 2,90, além do mercúrio, com densidade de 13,56 (a 15 °C).

4.2 Manômetros mecânicos

Os manômetros mecânicos são construídos com dispositivos flexíveis que são submetidos à pressão. O deslocamento destes dispositivos é relacionado à pressão.

Dentre os vários tipos de manômetros mecânicos, o mais utilizado é o tipo Bourdon. Consiste basicamente de um tubo curvo, flexível e de seção oval, tendo sua tomada de pressão em uma das extremidades, que é fixa, sendo a outra livre para movimentação. São extensamente utilizados na indústria, razão pela qual são também chamados de “manômetros industriais”.



Figura 30 – Funcionamento do manômetro do tipo Bourdon



Figura 31 – Aspecto típico de manômetros do tipo Bourdon

Os manômetros mecânicos, de acordo com o processo de fabricação e materiais utilizados, possuem faixas de precisão variadas. Tipicamente manômetros industriais apresentam precisão de 2 % f.e. Manômetros de precisão podem apresentar precisão de até 0,5 % v.i.

4.3 Medidores de pressão eletrônicos

Em geral, medidores de pressão eletrônicos são também equipamentos de transmissão de pressão, incorporando em sua eletrônica a emissão de sinais na forma de tensão, corrente frequência e outros.

4.3.1 Medidor de pressão com sensor capacitivo

O princípio de funcionamento deste tipo de medidor é a proporcionalidade existente entre a pressão aplicada e a variação da *capacitância* de um capacitor eletrônico onde uma das placas é móvel.

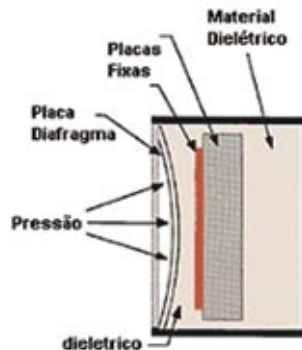


Figura 32 – Sensor de pressão do tipo capacitivo

4.3.2 Medidor de pressão com sensor piezo resistivo

Os sensores piezo resistivos (*strain gages*) são fabricados usando materiais resultantes do desenvolvimento dos semicondutores. Podem ser denominados também de sensores de estado sólido, sensores monolíticos ou sensores de silício.

Este sensor apresenta como princípio de medição a variação de resistência que o material semicondutor apresenta quando sofre deformações. São construídos utilizando resistores em configuração tal que, aplicando-se pressão,

um conjunto de resistores apresenta queda de resistência elétrica enquanto outro apresenta aumento de resistência elétrica.

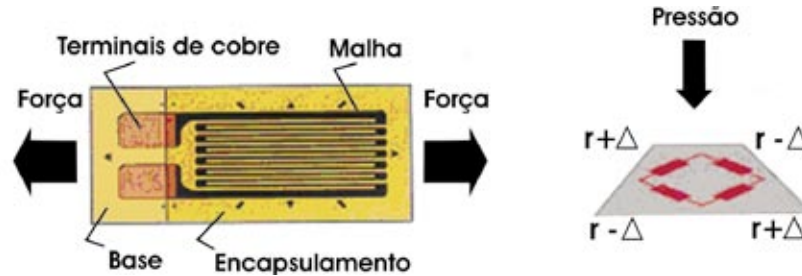


Figura 33 – Manômetros piezo resistivos

4.3.3 Medidor de pressão com sensor piezo elétrico de cristal

Em 1880, Pierre e Jacques Courie descobriram que determinados cristais geram cargas elétricas quando submetidos à pressão. Este é o princípio de funcionamento destes equipamentos. O cristal é submetido à pressão do meio e responde com a geração de pequenas cargas elétricas.

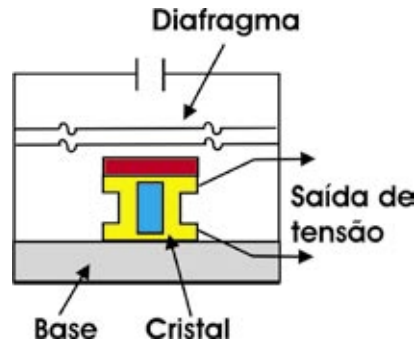


Figura 34 – Manômetros piezo elétricos

5. Medição de diferencial de pressão

A medição do diferencial de pressão é de suma importância quando se utiliza macromedidores deprimogêneos.

A estrutura interna de um sensor de pressão diferencial é muito semelhante à dos sensores apresentados anteriormente, considerando-se que nestes sensores uma ou mais placas são expostas a pressões, como forma de estabelecer as suas diferenças.

5.1 Obtenção de pressão diferencial com sensor de foles opostos

A medição do diferencial de pressão neste tipo de sensor é determinada por meio da deformação de dois foles opostos. O espaço entre os dois foles é preenchido com óleo para evitar que sejam danificados quando submetidos a grande pressão estática. Cada fole situa-se em uma câmara estanque. A pressão diferencial aplicada desloca os foles, movendo um eixo de transmissão, cuja movimentação é registrada em gráfico ou convertida em sinal de tensão ou corrente.

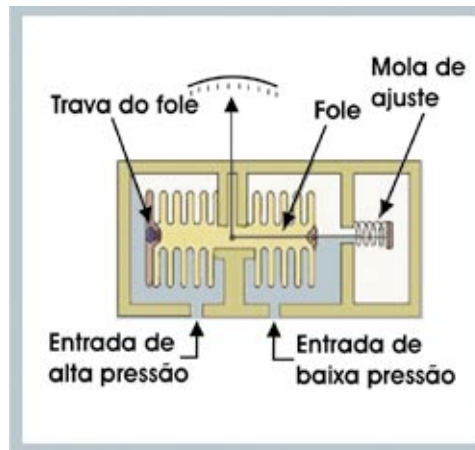


Figura 35 – Princípio de funcionamento da célula de foles opostos

5.2 Obtenção de pressão diferencial com sensor capacitivo

Sensores deste tipo são baseados em células capacitivas onde, em cada placa do capacitor, é aplicada uma das pressões, cuja diferença se quer estabelecer.

No centro do sensor, existe um capacitor que tem suas placas comunicando-se diretamente com um diafragma, no qual incide as pressões do líquido. O deslocamento do diafragma causa o deslocamento das placas do capacitor, sendo então a capacitância alterada de modo proporcional ao diferencial de pressão aplicado.

Em geral estes equipamentos possuem batentes que impedem o deslocamento contínuo do diafragma, evitando-se assim o rompimento do sensor por sobrepressão.

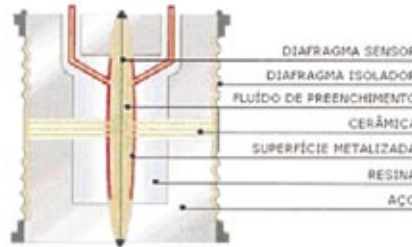


Figura 36 – Sensor capacitivo de diferencial de pressão

Os medidores de diferencial de pressão exigem a instalação de sistema de registros, denominado de *manifold*, que permite, através de manobras convenientes, expurgar (esvaziar) a célula capacitiva e equalizar as pressões em suas duas câmaras.

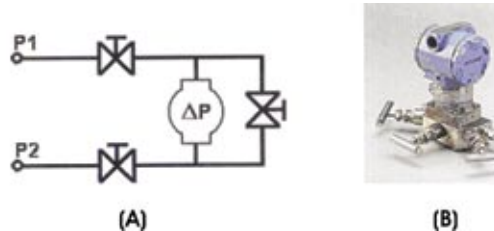


Figura 37 – Esquema do manifold (A) e manifold instalado em sensor de diferencial de pressão do tipo capacitivo (B)

5.3 Obtenção de pressão diferencial com sensor de silício ressonante

Este sensor de diferencial de pressão é formado por dois elementos ressonantes de silício, com a forma da letra “H”, encapsulados a vácuo. Um campo magnético permanente é aplicado perpendicularmente a estes elementos.

A aplicação de uma corrente alternada faz com que os elementos oscilem sob o campo magnético. As oscilações induzidas em uma das pernas do “H” são transmitidas à outra perna, fazendo o sensor entrar em ressonância.

Dois elementos semelhantes são posicionados de maneira que, havendo pressão, um conjunto de elementos sofra tração e o outro conjunto de elemento sofra compressão.

Sem pressão, os dois elementos oscilam na frequência de 90 kHz. Quando é aplicada pressão, um conjunto de sensor tem sua frequência aumentada (submetido a tração) e o outro conjunto tem sua frequência reduzida (submetido a compressão). A pressão diferencial é resultante da diferença de frequências e a pressão estática do meio é resultante da soma das frequências de ressonância dos conjuntos de elementos.



Figura 38 – Princípio de funcionamento do sensor de pressão diferencial de silício ressonante

6. Medição de nível

Existe atualmente grande variedade de equipamentos medidores de nível. Serão apresentados neste Guia os mais utilizados em saneamento básico.

6.1 Visores de nível

Sistema de construção mais simples. Consiste em um tubo de vidro ou outro material transparente colocado diretamente na parede do reservatório, podendo conter ou não uma bóia indicativa.



Figura 39 – Exemplos de visores de nível

6.2 Medição de nível com flutuadores

Neste sistema uma bóia flutuante transmite seu movimento através de sistemas de roldanas a um indicador situado externamente ao reservatório.

É um medidor de nível extremamente simples e muito utilizado em saneamento. Cuidados devem ser tomados na escolha do ponto de instalação para que não haja obstáculos na trajetória da bóia e do cabo do indicador.

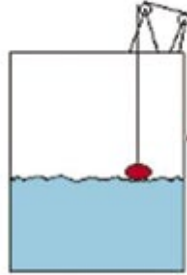


Figura 40 – Medidor de nível com flutuador

Observa-se neste tipo de medidor, conforme mostrado na ilustração, que a indicação de nível é inversa, ou seja, o indicador sobe quando o nível do reservatório baixa e vice-versa.

Pode-se corrigir esta inversão utilizando-se um jogo de engrenagens junto às polias do cabo.

6.3 Medição de nível por borbulhamento

Esta é uma maneira fácil e de baixo custo de medir o nível de reservatórios.

Imagine a seguinte experiência: insira um canudo, destes que usamos para tomar refrigerante, dentro de uma vasilha com água. Logo após a inserção do canudo, observe que ele se completa com a água até o nível da mesma na vasilha.

Agora comece a soprar lentamente o canudo. Observe que lentamente será expelida a água de dentro do canudo até que se inicie um borbulhamento. Isto significa que o sopro está aumentando a pressão do ar dentro do canudo e à medida que esta vai aumentando, vai vencendo a pressão da coluna de água, até que toda a água é expulsa do canudo. Neste ponto, a pressão que se está soprando no canudo equivale à pressão da coluna de água no fim do canudo.

Esta simples experiência demonstra o funcionamento do medidor de nível por borbulhamento, que consiste de um tubo alimentado com ar comprimido, com sua extremidade aberta no nível inferior do reservatório. Recomenda-se que a pressão seja ajustada de maneira que sejam criadas bolhas na frequência de duas por segundo.

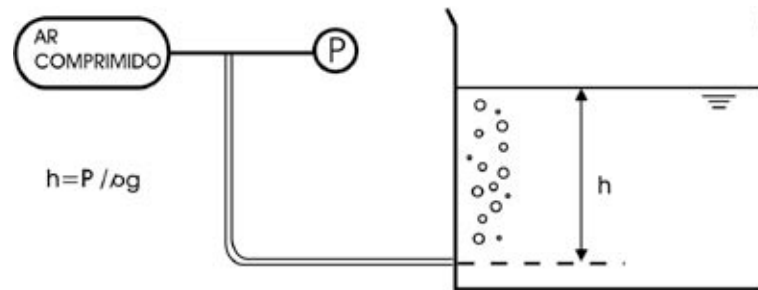


Figura 41 – Sistema de medição de nível por borbulhamento

6.4 Medição de nível com sensor ultra-sônico

O sistema de medição de nível por ultra-som é baseado na medição do tempo entre a emissão de uma onda sonora e seu retorno, após a mesma ter refletido em uma determinada superfície.



Figura 42 – Medidor de nível por ultra-som

Deve-se cuidar para que o sensor utilizado possua compensação de temperatura. A velocidade de propagação do som no ar varia em função da temperatura na ordem de $0,607 \text{ m/s}^{\circ}\text{C}$.

Outro cuidado na instalação deste tipo de medidor é que a superfície deve apresentar-se plana, ou seja, sem grandes ondulações, o que causaria o falseamento na reflexão das ondas sonoras, podendo interferir no funcionamento do equipamento.

7. Calibração de macromedidores

7.1 Calibração de medidores de vazão deprimogêneos

Como já visto anteriormente, a equação básica dos medidores deprimogêneos tem um fator K como multiplicador.

$$Q = K \times \sqrt{\Delta P}$$

O levantamento da constante K é baseado na determinação de pares Q (vazão) e ΔP (diferencial de pressão) *in loco*.

Os ensaios para obtenção dos valores de “K” devem ser executados periodicamente. Recomenda-se que se façam programações anuais de tais serviços.

A execução dos ensaios de calibração pode ser dividida em quatro fases:

- a) A primeira fase destina-se ao levantamento de dados visando à obtenção de esquemas hidráulicos relativos às condições de contorno do ponto de medição. Por meio deste levantamento, são determinadas as rotinas das manobras que serão feitas para obtenção das variações de vazão necessárias ao longo dos ensaios;
- b) Conhecidas as condições de contorno do ponto de medição, procedem-se aos ensaios para a determinação dos pares de valores de vazão e diferencial de pressão;
- c) De posse dos dados levantados em campo, na fase seguinte, são procedidos os cálculos para a determinação da constante;
- d) Após a determinação da constante, realizar novamente os ensaios para a confirmação dos valores obtidos.

7.1.1 Procedimentos e recomendações para calibração de deprimogêneos em campo com tubo Pitot

Os procedimentos para ensaios de campo com tubo Pitot devem seguir as orientações constantes no Guia Prático de Ensaios Pitométricos.

Visando verificar a repetição de indicação do instrumento, as dez variações devem ser feitas em dois grupos de cinco vazões cada, um grupo com cinco vazões decrescentes e outro com cinco vazões crescentes.

Recomenda-se que a vazão plena inicialmente obtida, quando da instalação do tubo Pitot, seja dividida por cinco, sendo este resultado os decréscimos e acréscimos de vazão utilizados para compor as duas séries de cinco vazões.

Exemplo: Na instalação do tubo Pitot para aferição de um tubo Venturi, obteve-se a vazão de 137 L/s.

Nos ensaios de aferição devem-se obter pontos próximos das seguintes vazões:

1º Ensaio: vazão 137 L/s

2º Ensaio: Vazão 109 L/s

3º Ensaio: Vazão 82,2 L/s

4º Ensaio: Vazão 54,8 L/s

5º Ensaio: Vazão 27,4 L/s

Nos demais ensaios, deve-se repetir aproximadamente os valores anteriores, de forma crescente.

Para cada valor de vazão, devem ser realizadas leituras concomitantes no tubo “U” do Pitot e no tubo “U” instalado nas tomadas do macromedidor. As leituras devem ser em número de 21, espaçadas a cada 30 segundos.

No caso de medidores instalados em redes de distribuição (saídas de reservatórios), sugere-se que os ensaios sejam executados em dias quentes e durante o dia, geralmente das 8h às 11h, quando o consumo é crescente. Desta forma as variações de vazão necessárias são obtidas sem necessidade de manobras em registros.

Visando à obtenção de dados confiáveis, recomenda-se:

- Trocar o tubo Pitot e o líquido manométrico depois de obtidos os 5 (cinco) primeiros pares de vazão e ΔP ;
- Trocar o líquido manométrico sempre que as deflexões estejam fora da faixa de 15 a 40 cm;
- Determinar o fator de velocidade da estação pitométrica utilizada no ensaio, com a construção de no mínimo

4 (quatro) curvas de velocidades, preferencialmente em condições de vazões extremas (mínima e máxima ensaiada), observando a correta adoção dos procedimentos pitométricos.

7.1.2 Cálculos para obtenção dos pares q e Δp

A vazão por meio do Pitot é obtida conforme os cálculos descritos no Guia Prático de Ensaaios Pitométricos.

Os valores de ΔP são obtidos através da média das deflexões observadas no tubo “U” instalado nas tomadas de alta e baixa pressão do medidor ensaiado, a cada vazão testada, através da aplicação da seguinte fórmula:

$$\Delta P_i = H_i \times (D_{liq} - 1) / 100$$

Sendo:

ΔP_i = Pressão diferencial em mca

H_i = Média das deflexões observadas no ensaio (em milímetros)

D_{liq} = Densidade do líquido manométrico utilizado

O valor de “K” é obtido através do somatório dos termos $(Q_i \times \sqrt{\Delta P_i})$ dividido pelo somatório dos diferenciais de pressão obtidos nas vazões ensaiadas, de acordo com a seguinte fórmula:

$$K = \frac{\sum (Q_i \times \sqrt{\Delta P_i})}{\sum \Delta P_i}$$

Onde:

K = Constante calculada

Q_i = Vazões ensaiadas

ΔP_i = Diferencial de pressão

Com o valor obtido de K deve-se calcular a vazão (denominada de vazão calculada) para cada diferencial de pressão obtido em ensaio.

A vazão calculada deve ser comparada à vazão medida pelo tubo Pitot utilizando-se a seguinte fórmula:

$$\text{DESVIO} = \frac{Q_{\text{MEDIDA}} - Q_{\text{CALCULADA}}}{Q_{\text{MEDIDA}}} \times 100$$

Valores de desvios superiores a 4 % devem ser descartados, procedendo-se novamente ao cálculo da constante “K” para com os valores restantes. No máximo três testes podem ser recusados: caso ocorra um número maior de recusas, deve-se proceder à realização de novo ensaio de calibração.

Planilhas eletrônicas podem e devem ser utilizadas para facilitar os cálculos e determinação do fator “K”. No excel, por exemplo, os dados podem ser tabulados (vazão x diferencial de pressão) e realizado o gráfico respectivo. Através da opção “curva de tendência”, pode-se obter facilmente o valor de “K”.

Exemplo:

A tabela abaixo fornece os valores obtidos em campo e os resultados de cálculo para o equipamento medidor tipo Venturi instalado numa saída de reservatório, em tubulação de 600 mm.

TABELA DE CALIBRAÇÃO DE UM VENTURI – 1ª APROXIMAÇÃO DE K

TESTE	D _{LIQ} *	VAZÃO	H médio	ΔP	Raiz de ΔP	Q X raiz ΔP	Qcalc	DESVIO %
		(m³/s)	(mm)	(mca)			(m³/s)	
1	1,11	0,18	49	0,0539	0,2322	0,0418	0,1787	-0,70
2	1,11	0,205	57	0,0627	0,2504	0,0513	0,1928	-5,96
3	1,11	0,228	81	0,0891	0,2985	0,0681	0,2298	0,79
4	1,11	0,243	92	0,1012	0,3181	0,0773	0,2449	0,79
5	1,11	0,282	122	0,1342	0,3663	0,1033	0,2820	0,01
6	1,11	0,29	135	0,1485	0,3854	0,1118	0,2967	2,30
7	1,25	0,391	106	0,2650	0,5148	0,2013	0,3963	1,36
8	1,25	0,455	125	0,3125	0,5590	0,2544	0,4304	-5,41
9	1,25	0,48	161	0,4025	0,6344	0,3045	0,4884	1,76
10	1,6	0,512	76	0,4560	0,6753	0,3457	0,5199	1,54
Somatórios				2,0256		1,5594		
K =					0,76986642			

Deve-se recalcular o valor de “K”, desprezando-se os testes 2 e 8, cujos desvios apresentaram-se superiores a $\pm 4\%$. Refazendo-se o cálculo, se obtém:

TABELA DE CALIBRAÇÃO DE UM VENTURI – 2ª APROXIMAÇÃO DE K

TESTE	D_{LQ}	VAZÃO	H médio	ΔP	Raiz de ΔP	Q X Raiz ΔP	Qcalc	DESVIO %
		(m ³ /s)	(mm)	(mca)			(m ³ /s)	
1	1,11	0,18	49	0,0539	0,2322	0,0418	0,1787	-0,70
3	1,11	0,228	81	0,0891	0,2985	0,0681	0,2298	0,79
4	1,11	0,243	92	0,1012	0,3181	0,0773	0,2449	0,79
5	1,11	0,282	122	0,1342	0,3663	0,1033	0,2820	0,01
6	1,11	0,29	135	0,1485	0,3854	0,1118	0,2967	2,30
7	1,25	0,391	106	0,2650	0,5148	0,2013	0,3963	1,36
9	1,25	0,48	161	0,4025	0,6344	0,3045	0,4884	1,76
10	1,6	0,512	76	0,4560	0,6753	0,3457	0,5199	1,54
Somatórios				1,6504		1,2538		
K =					0,75966841			

Na 2ª aproximação, os desvios ficaram em patamares aceitáveis.

O valor obtido para o “K” na tabela deve ser o valor considerado para a utilização no tubo Venturi calibrado. Com esta constante, pode-se elaborar tabelas associando o diferencial de pressão à vazão.

7.2 Aferição em campo de macromedidores velocimétricos

Dois métodos podem ser utilizados para a aferição dos medidores velocimétricos:

7.2.1 Aferição com vazões instantâneas

Neste tipo de aferição, procura-se verificar a curva de erros do medidor.

A vazão de referência é determinada através do tubo Pitot.

O melhor procedimento é quando se pode obter valores de vazão nos ensaios próximos às vazões características do medidor (vazão mínima, vazão de transição e vazão nominal). O estabelecimento destas vazões em situações de campo é muito difícil, o que pode inviabilizar os ensaios de aferição. Desta forma, pode-se simplificar o processo procurando verificar a precisão do medidor nas vazões corriqueiras de sua operação.

Os seguintes procedimentos podem ser utilizados:

- a) Instalação do tubo Pitot e determinação da curva de velocidades e constante pitométrica da estação;
- b) Iniciar as leituras da deflexão do tubo “U”. Concomitantemente com a primeira leitura no Pitot, deve-se proceder à leitura do macromedidor, iniciando a contagem de tempo com um cronômetro;
- c) Juntamente com a última leitura do Pitot, deve-se proceder à nova leitura de volume no macromedidor e parar o cronômetro;
- d) Calcular a vazão registrada no macromedidor utilizando-se a seguinte fórmula:

$$Q_{\text{macro}} = \frac{(\text{Leitura final} - \text{Leitura inicial})}{\text{tempo (seg)}}$$

- e) Calcular a vazão determinada pela pitometria (Q_{pitot});
- f) Comparar os dois valores conforme a fórmula abaixo:

$$\text{DESVIO} = \frac{(Q_{\text{macro}} - Q_{\text{pitot}})}{Q_{\text{pitot}}} \times 100 \%$$

7.2.1.1 Análise dos desvios

A análise da conformidade do desvio deve ser feita conforme a vazão utilizada no ensaio: se a vazão de ensaio for superior à vazão de transição do medidor, considera-se que o medidor não necessita de ajustes quando o desvio obtido estiver no intervalo de $\pm 4 \%$. Se a vazão de ensaio situa-se no intervalo entre a vazão mínima e de transição, considera-se que o medidor não necessita de ajustes quando o desvio obtido situar-se entre $\pm 10 \%$.

Observa-se que os desvios descritos como aceitáveis referem-se ao dobro dos erros admitidos, conforme a curva de precisão destes equipamentos. Esta flexibilidade deve-se ao procedimento utilizado na calibração e ao acúmulo de erros admissíveis que há nos processos.

A prática demonstra que este método é eficaz para verificações periódicas de funcionamento do macromedidor. Caso seja necessária uma maior precisão e ajustes, recomenda-se que a aferição seja feita pelo método descrito a seguir.

7.2.2 Aferição com registro de volume

Nesta aferição, o volume registrado pelo macromedidor é comparado com o volume resultante do registro de vazões pelo prazo mínimo recomendado de 24 horas.

O procedimento é para a realização desta modalidade de aferição e encontra-se descrito abaixo:

- a) Instalação do tubo Pitot e determinação da curva de velocidade e constante da estação pitométrica.
- b) Instalação no tubo Pitot de equipamento registrador de diferencial de pressão (registrador de vazão) mecânico ou eletrônico.
- c) Proceder à leitura do macromedidor e registrar o horário. Caso esteja sendo utilizado registrador de vazão mecânico, anotar no gráfico o instante em que foi realizada a leitura do macromedidor. Caso seja utilizado registrador eletrônico, verificar o horário de registro, anotando-o junto à leitura do macromedidor.
- d) Após o período mínimo de 24 horas, deve-se novamente ler o macromedidor, registrando este momento no gráfico (registrador mecânico) ou verificar o momento no registrador eletrônico.

7.2.2.1 Análise dos Dados

A determinação do desvio do macromedidor será feito através da comparação dos volumes registrados.

Para converter os dados de vazão obtidos nos registradores para volumes, pode-se realizar o seguinte procedimento:

Tabular os dados de vazão obtidos com o registrador ao longo do tempo, obtendo-se em cada intervalo o valor do volume. Recomenda-se executar a tabulação para intervalos de 15 minutos, conforme a tabela exemplificada a seguir:

HORÁRIO	VAZÃO	VAZÃO MÉDIA (m³/s)	VOLUME (m³)
15:15	15:30	0,107	96,3
15:30	15:45	0,108	97,2
15:45	16:00	0,107	96,3
16:00	16:15	0,110	99,0
16:15	16:30	0,112	100,8
...

O volume é calculado multiplicando-se o valor da vazão pelo tempo, no caso, 900 segundos (o intervalo utilizado foi de 15 minutos).

Observa-se que haverá maior precisão no cálculo de volume quanto menor for o intervalo utilizado. Os registradores eletrônicos permitem que o tempo de amostragem seja regulado, podendo-se obter registros até em intervalos de 5 segundos.

O somatório dos volumes registrados deve ser comparado com o volume registrado pelo macromedidor calculando-se o desvio conforme a fórmula abaixo:

$$\text{DESVIO} = \frac{(\text{VOLUME macro} - \text{VOLUME registrador})}{\text{VOLUME registrador}} \times 100 \%$$

Desvios situados na faixa de +/- 4 % são considerados normais.

Constatando-se desvios fora desta faixa, para os macromedidores Woltamnn, pode-se proceder à regulagem do medidor através de seu parafuso de regulagem.

Estando os erros positivos (> +4 %), girar o parafuso de regulagem no sentido anti-horário. O avanço do parafuso regulador depende de quanto é a grandeza do desvio. Em um medidor registrando +6 %, o avanço do parafuso regulador deverá ser de aproximadamente ¼ de volta.

Estando os erros negativos (< -4 %), o giro do parafuso deve ser dado no sentido horário.

Para outros tipos de medidores, pode-se estabelecer uma constante e utilizá-la para correção da leitura.

7.3 Aferição de macromedidores magnéticos

A aferição de macromedidores magnéticos pode ser realizada com os procedimentos já vistos para o macromedidor mecânico.

A experiência mostra que a aferição com vazão instantânea é suficiente para a análise de macromedidores magnéticos. Nestes equipamentos, a curva de erros desloca-se por inteiro, assim, havendo qualquer desvio, o mesmo ocorrerá em qualquer vazão.

Havendo necessidade de ajustes, os mesmos devem ser feitos por meio de constantes configuradas na programação do equipamento.

7.4 Aferição de calhas Parshall

Como mencionado anteriormente, em consequência dos princípios construtivos aplicados à maioria das calhas existentes, dificilmente as equações e coeficientes básicos levantados em laboratório são mantidos. Porém, com a utilização de técnicas pitométricas, uma nova curva e equação específica pode ser obtida.

O levantamento das constantes K e n é baseado na determinação dos valores de Q , H e H_2 *in loco*.

A leitura de H deve ser realizada a $2/3$ de A , contados a partir do início da garganta. A leitura de H_2 deve ser realizada a distância X do término da garganta, sendo $X = 2,5$ cm para calha de 3" e 5,1 cm para as demais.

A figura 43 descreve os locais de medição.

A calha deve ser zerada no início do teste e todas as suas dimensões devem ser medidas, inclusive suas alturas e a distância entre o fundo da calha e o elemento sensor, no caso de se utilizar como secundário um medidor ultra-sônico.

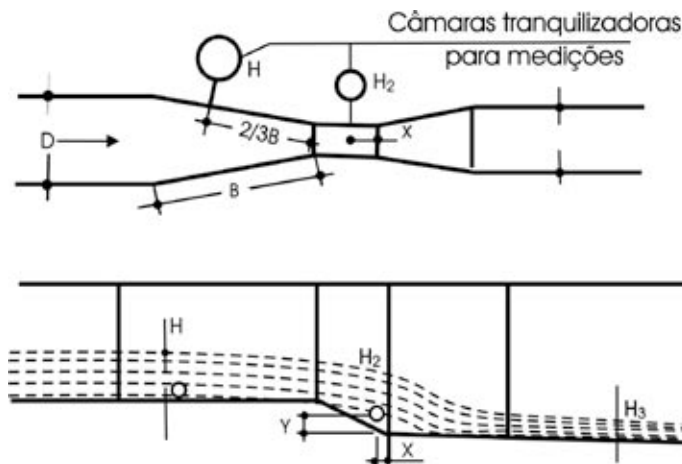


Figura 43 – Pontos de medição para aferição da calha Parshall

7.4.1 Procedimentos e recomendações para o ensaio de calha Parshall

Os procedimentos abaixo descritos referem-se à montagem dos instrumentos de pitometria e ao ensaio propriamente dito:

A) Determinação de vazão

Caso seja utilizado o tubo Pitot como equipamento de referência, tomar o cuidado de alternar as posições de suas tomadas de pressão (Tips) através do giro de 180°, quando deverá ser dada a mesma indicação de ΔP . Esta recomendação é extremamente importante, uma vez que a medição para calha Parshall em geral é realizada com água bruta e portanto com possibilidade de causar incrustações nos Tips.

Variar a vazão, para a obtenção de 10 (dez) valores de vazão diferentes, através de manobras no sistema. Visando à verificação das condições de repetição do instrumento aferido, deve-se dividir estas dez determinações em 2 grupos de 5 vazões cada, um grupo com vazões decrescentes e outro com vazões crescentes.

Para cada vazão, efetuar leituras simultâneas do tubo Pitot e alturas da Parshall a cada 30 segundos, totalizando 21 leituras.

B) Determinação de H e H_2

Recomenda-se a determinação das alturas H e H_2 diretamente na calha, com a utilização de régua rígida. Deve-se cuidar para que a régua não sofra deflexão nas vazões mais altas, para tanto poderá ser utilizado algum dispositivo de fixação, desde que o mesmo não represente interferência no fluxo da calha.

C) Secundários: equipamentos indicadores de vazão na calha

Em geral as Calhas possuem elementos secundários, que indicam diretamente a vazão do instrumento, podendo ser:

- **Mostradores circulares:** Um sistema de pêndulo e bóia transforma a variação de nível da bacia de tranquilização em movimentação circular do ponteiro. Em geral a transmissão é direta, no entanto, existem equipamentos nos quais um sistema de engrenagens regula a movimentação.
- **Sistemas eletrônicos de medição de nível.** O nível é determinado eletronicamente (em geral por medidor ultra-sônico) e convertido em valores de vazão pelo próprio instrumento.

D) Conferência dos registros nos elementos secundários

Para a verificação e posterior calibração dos equipamentos indicadores, recomenda-se que simultaneamente às determinações de Q e H_s , seja procedida a leitura do mesmo, do seguinte modo:

Mostradores circulares: Antepor ao mostrador circular, cartão em branco, no qual poderá ser realizada marcações da posição do ponteiro conforme as vazões de ensaio.

Indicadores eletrônicos: Deve-se ajustar o equipamento para que sejam indicados valores de altura. Observar se o mesmo está configurado para indicar medidas entre o nível da água e o sensor ou entre o fundo da calha e a crista do fluxo. É importante saber qual o parâmetro que está sendo indicado pelo aparelho.

É de suma importância neste aparelho a correta configuração da distância entre o sensor e o fundo da calha. Quando a calha for zerada, deve-se determinar a correta distância entre o sensor e fundo e observar se o mesmo está com a indicação correta (zero para o caso de configuração da medição do nível da água em relação ao fundo da calha ou altura do aparelho entre o sensor e o fundo da calha quando estiver na outra configuração possível).

7.4.2 Determinação das constantes da equação

Considerando que a equação geral para a obtenção de vazão na calha Parshall é:

$$Q = K \cdot H^n$$

Os dez pares de Q e H permitirão deduzir os valores de **K** e **n** por análise de regressão. Numa planilha eletrônica construa um gráfico de dispersão (x e y) com os dez pares de valores de Q e H. Mande adicionar uma linha de tendência do tipo potência, configurando para que a equação seja exibida, assim como o coeficiente de correlação, R^2 . O ideal é que a equação tenha um alto coeficiente de correlação (o mais próximo possível de 1).

Confira no exemplo hipotético abaixo.

CALHA PARSHALL DE 9" hipotética	
H (cm)	Q (L/s)
4	6,00
10	18,00
15	34,00
20	52,00
25	74,00
30	97,00
35	123,00
40	151,00
45	181,00
50	213,00
55	246,00



7.4.3 Medidor Parshall afogado – H_2

A relação H_2 / H , expressa em %, é chamada de *submersão* ou *afogamento*. Uma submersão de 60 % (para calhas até 9 ") e 70 % para as demais, não afeta as condições de escoamento. Valores superiores indicam que perturbações ocorridas a jusante do medidor se propagam a montante. Nestas condições, a Parshall é denominada

de afogada e a vazão real será inferior àquela que se obteria pelo emprego da Fórmula $Q = K \times H^n$. Para a determinação da vazão será necessária e indispensável a aplicação de uma correção.

Obstáculos, falta de declividade a jusante são causas freqüentes de afogamento do medidor.

A correção é feita através da seguinte fórmula:

$$\text{Coeficiente de correção} = Q = \frac{Q_{ep}}{Q_{Parshall}}$$

Devido aos problemas citados, é conveniente que a calha Parshall que trabalha submersa, seja ensaiada a períodos curtos (a cada 3 meses) até que se tenha certeza de que a geometria é constante a jusante da calha.

Observa-se que a submergência máxima permissível é de 95 %, uma vez que acima deste limite o medidor deixa de ser confiável.

7.4.4 Calibração e ajuste dos dispositivos secundários

A) Mostrador circular

O ajuste e calibração do medidor secundário do tipo bóia e mostrador poderá ser realizado pela confecção de novo mostrador. Recomenda-se que seja utilizado um disco sobreposto ao mostrador original para a marcação da localização do ponteiro, quando das determinações de Q e H . Desta forma, ter-se-á uma base para a confecção de novo mostrador. Na ausência de engrenagens retificadoras, será observada variação de forma exponencial, ou seja há relação exponencial entre o ângulo de giro do ponteiro e a vazão. Pode-se fazer o gráfico para ângulo *versus* vazão como forma de determinação da nova escala de valores do mostrador.

Caso o mostrador possua sistema de engrenagens, pode haver a linearização da relação entre o ângulo de giro do ponteiro e a vazão. Novamente pode-se determinar a nova relação entre ângulo de giro e vazão para a execução de novo mostrador.

Em ambos os casos é importante a verificação dos seguintes itens:

- Livre curso da bóia existente no canal de tranquilização. É comum, principalmente em Estações de Tratamento de Água, que trabalham acima de suas vazões nominais, a existência de dispositivos de final de curso para a bóia, o que acabará por travá-la e causar medições errôneas.
- Instabilidade do ponteiro. Em geral a instabilidade do ponteiro se dá pela má execução do dispositivo de tranquilização do nível de água. Quanto menor o diâmetro do tubo de união e maior a área do dispositivo de tranquilização, maior estabilidade haverá na movimentação do ponteiro.

É importantíssimo verificar o ponto em que está sendo feita a tomada d'água na calha. O ponto de tomada está na base da linha vertical na qual é obtida a altura H , portanto a $2/3$ do comprimento do canal de entrada, contado a partir do início da garganta. É comum este ponto estar erroneamente situado na garganta do medidor.

B) Medidores eletrônicos de nível

Nestes instrumentos é importante, como já foi mencionado, a perfeita configuração da altura do sensor do aparelho em relação ao fundo da calha.

Muitos instrumentos de medição de nível já possuem pré-programação para medição de vazão em calha Parshall, bastando para tanto inserir a informação a respeito das dimensões da garganta. A configuração dos mesmos é feita baseada em equações padrões, que nem sempre traduzem com precisão a vazão.

Tais dispositivos apresentam também a possibilidade de configuração de novas equações, na forma de pares de pontos, configuração esta que é a recomendada quando da calibração.

Qualquer que seja o dispositivo secundário, recomenda-se sua calibração na sua instalação.

7.5 Aferição de manômetros e registradores de pressão

Para a aferição de manômetros e registradores de pressão, utiliza-se a balança de peso morto.

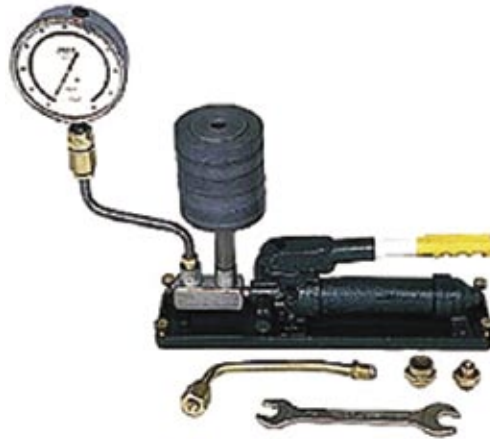


Figura 44 – Balança de peso morto

A balança de peso morto é um sistema de vasos comunicantes. Discos com pesos calibrados são colocados em uma bandeja flutuante. A pressão exercida pelos mesmos é transferida à tomada onde é instalado o manômetro que se quer aferir.

O fluido de preenchimento do vaso comunicante em geral é a glicerina líquida, podendo ser utilizado também óleo fino para lubrificação de máquinas.

Os pesos devem ser colocados cuidadosamente na bandeja, evitando-se choques que possam danificar o manômetro.



Figura 45 – Colocação de pesos calibrados na balança de peso morto

Após a colocação do peso, deve-se girar a bandeja para verificar se a mesma está flutuando.

Caso a bandeja esteja em repouso (encostada no fundo) significa que a pressão no fluido e a pressão proporcionada pelo disco não estão equilibradas. Neste caso, deve-se pressionar levemente a alavanca do pistão, aumentando a pressão do fluido até que a bandeja comece a flutuar. Neste ponto, as pressões estarão equilibradas. Procede-se à leitura do manômetro, comparando-a com a somatória dos pesos colocados na bandeja.



Figura 46 – Equilibrando a pressão para fazer flutuar a bandeja dos pesos

Caso a bandeja esteja no final de seu curso, significa que a pressão no fluido é superior à pressão exercida pelos pesos. Neste caso, deve-se novamente acionar a alavanca, aliviando a pressão do fluido até que a bandeja comece a flutuar.

8. Referências bibliográficas

STREETER, Victor L. *Mecânica dos Fluidos*. Editora Mcgraw-Hill do Brasil Ltda.

DELMÉE, Gerard Jean. *Manual de Medição de Vazão*. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1982.

COELHO, Adalberto Cavalcanti. *Medição de água, política e prática*. Recife: Editora Comunicarte, 1996.

Apostilas de Pitometria. Sabesp e Cetesb

Apostila do Programa de Eficientização Industrial – Módulo Instrumentação e Controle. Procel/Eletróbrás

Anotações de aulas do Autor

Referências internet

<http://www.cassiolima.com.br/>

<http://www.conaut.com.br/>

<http://www.enorsul.com.br/>

<http://www.ercon.com.br/>

<http://www.mecaltec.com.br/>

<http://www.nuflotech.com./>

<http://www.omega.com/>

<http://www.restor.com.br/>

<http://www.sanea.com.br/>

