VOLUME 1

Aesbe
Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento

SÉRIE BALANÇO HÍDRICO

GUIA PRÁTICO

PARA DETERMINAÇÃO DE VOLUME DE ENTRADA NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

01_guia aesbe.indd 1 24/09/15 16:48

01_guia aesbe.indd 2 24/09/15 16:48

GUIA PRÁTICO

PARA DETERMINAÇÃO DE VOLUME DE ENTRADA NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

1ª EDIÇÃO - 2015

DIRETOR-PRESIDENTE
Roberto Cavalcanti Tavares
Compesa/PE

DIRETOR VICE-PRESIDENTE
Mounir Chaowiche
Sanepar/PR

DIRETORES VICE-PRESIDENTES REGIONAIS
Danque Esbell da Silva
Caer/RR

Raimundo Nonato Farias Trigo
Agespisa/PI

Carlos Fernandes de Melo Neto
Deso/SE

José Taveira Rocha
Saneago/GO

Denise Cadete
Cesan/ES

Mounir Chaowiche
Sanepar/PR

CONSELHO FISCAL
Maurício Luduvice
Caesb/DF

Luciano Lopes Dias
Cosanpa/PA

Davi de Araújo Telles
Caema/MA

SECRETÁRIO-EXECUTIVO
Ubiratan Pereira

COORDENADOR DAS CÂMARAS TÉCNICAS
Joaquim Souza

ASSESSORA DE COMUNICAÇÃO
Luciana Melo

01_guia aesbe.indd 3 24/09/15 16:48

CÂMARA TÉCNICA DE DESENVOLVIMENTO OPERACIONAL – CDO

Paulo Roberto Cherem de Souza (COPASA) - Coordenador
Nelson Silva Júnior (SABESP) - Secretário
Airton Sampaio Gomes - Consultor da CDO
Isabel Cristina Pereira Alves (DESO) - Estruturação dos Guias

MEMBROS

AGESPISA
Joaquim R. M. F. de Carvalho
Manoel de Castro Dias

CAEMA
Ignácio Á. de Oliveira
Nelson José Bello Cavalcante
José Luiz R. Bastos

CAER
José Cesar
Oriedson M. da Silva

CAERD
América Maria R. de Lima V. F.
Débora Maria C. R. D. M. Reis
Mauro Berberian
Sérgio A. P. Ramos
Sérgio G. da Silva
Vagner M. Zacarini

CAERN
Ana Luiza de Araújo
Eduardo N. Cunha
Josildo L. dos Santos

CAESA
Evandro Luis de Oliveira
Raimundo S. dos Santos

CAESB
Amauri A. Tavares
Diogo Gebrim
Humberto B. Adamatti
Klaus D. Neder
Luiz Carlos H. Itonaga
Manoel E. de Almeida
Marcos P. da Costa Ribeiro
Nilce R. da Silva
Paulo R. V. Caldeira
Stefan I. Mülhofer
Ulisses A. Pereira

CAGECE
Cailiny Cunha
Luiz C. B. Pinto
Giordan R. Lima
Luiz R. C. Benevides
Simone V. de Queiroz

CAGEPA
José M. Victor

CASAL
Jorge B. Torres

CASAN
Andréia May
Heloise C. Schatzmann
Paulo Peressoni
Rodrigo M. Moure
Rodrigo S. Maestri

CEDAE
Gustavo Tannure
Jaime Azulay
Luis E. Freitas de Faria
Luiz C. Drumond

CESAN
Francine A. do Doelinger
Iranete G. Machado
Karla P. Vaccari

COMPESA
Daniel G. Bezerra
Maria L. Martins de Lima
Victor C. de Oliveira Pereira

01_guia aesbe.indd 4 24/09/15 16:48

COPASA
Paulo R. Cherem de Souza
Ricardo N. Coelho
Wellington J. Santos

CORSAN
Antônio C. Martins
Antônio C. Accorsi
Eduardo B. Carvalho
Gerson Cavassola
Jeferson Scheibler
Ricardo R. Machado

COSANPA
Ronald K. da Silva
Gilberto da Silva Drago

DEPASA
Alan de O. Ferraz
Dania Coutinho
Rodrigo B. da Fonseca Accioly

DESO
Ana Luiza C. de Almeida
Carlos A. Filho
Carlos F. de Melo Neto
Marcelo L. Monteiro
Max S. Kuhl
Carlos A. S. Pedreira

EMBASA
Alberto de Magalhães F. Neto
Glauco C. de Souza
Rodolfo G. de Aragão

SABESP
Nelson Silva Junior

SANEAGO
Alexandre G. de Souza
Dioremides A. Cristaldo
Mario C. Guerino
Wanir José M. Júnior

SANEATINS
Ana C. Horner Silveira
Débora C. Muniz
Claudio R. Guimarães
Uilma H. C. Aguiar
Vanderlei Ângelo Bravin

SANEPAR
Kazushi Shimizu
Marcelo D. Depexe
Mauro O. de Lara

SANESUL
Marcus Tedesco
Sara de Souza M. Nogueira
Onfore A. de Souza
Karoline Franzini
Antonio Toshime Arashiro
Elthon S. Teixeira

01_guia aesbe.indd 5 24/09/15 16:48

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 7

GLOSSÁRIO DE TERMOS PARA ENTENDER BALANÇO HÍDRICO 10

1. VOLUME DE ENTRADA NO SISTEMA E INCERTEZA DE MEDIÇÃO 13

2. MEDIÇÃO DE VOLUMES: CARACTERÍSTICAS DOS MEDIDORES 15
2.1 Medidores velocimétricos **15**
2.2 Medidores deprimogêneos **15**
2.3 Medidores eletrônicos **16**
2.4 Medidores volumétricos **16**
2.5 Medidores de canal aberto **16**

3. DEFINIÇÃO E AVALIAÇÃO DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO 17

4 INCERTEZA DE MEDIÇÃO EM LEVANTAMENTOS PITOMÉTRICOS 19
4.1 Modelagem do sistema de medição **21**
4.2 Identificação de todas as fontes de incerteza **23**
4.3 Quantificação das fontes de incerteza e determinação da estimativa do valor do medido **24**
4.4 Cálculo da incerteza-padrão para cada fonte de incerteza **24**
4.5 Cálculo da Incerteza Padrão Combinada **27**
4.6 Cálculo da Incerteza Expandida **28**
4.7 Expressão do Resultado **28**

5 CALIBRAÇÃO EM LABORATÓRIO E ENSAIOS DE MEDIDORES EM CAMPO 29
5.1 Padrão primário para medidas de vazão **31**
5.2 Calibração de macromedidores velocimétricos e pequenos medidores eletrônicos **31**
5.3 Ensaio de medidores em campo com registro de volume **32**
5.3.1 Análise dos Dados **32**
5.4 Ensaio de aceitação em campo de macromedidores eletrônicos **33**
5.4.1 Ensaio com vazões instantâneas em períodos curtos **33**

6. MANUTENÇÃO DE MACROMEDIDORES 34

7. RECOMENDAÇÕES FINAIS 35

REFERÊNCIAS 36

01_guia aesbe.indd 6 24/09/15 16:48

INTRODUÇÃO

Quando se analisam dados do SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (www.snis.gov.br) observa-se grandes desníveis entre as empresas do setor quanto à capacidade de enfrentar o desafio de operar os sistemas de abastecimento de água com elevados níveis de desempenho operacional. Altos níveis de desempenho são demandados pela sociedade, face à crescente escassez de recursos hídricos, notadamente nas regiões metropolitanas, e em face também da agenda ambiental com a qual o Brasil está comprometido junto à comunidade internacional.

Os desníveis atualmente existentes entre as organizações do setor abrem um espaço de oportunidades para ações de ajuda mútua e cooperação, com o objetivo de reduzir estas assimetrias e promover o desenvolvimento sustentável e equilibrado do setor em nosso País. O propósito desta série de publicações, dentre outros, é somar esforços com os diversos níveis governamentais envolvidos no assunto, rumo à melhoria da eficiência do setor de saneamento.

Em nível internacional, grandes avanços e muitas experiências exitosas têm ocorrido no enfrentamento da questão de elevar o nível de desempenho operacional nos sistemas de abastecimento de água. Pode-se citar a atuação vigorosa da *Water Loss Task Force*, da IWA – *International Water Association*, que segue trabalhando sobre o tema desde 1995, tendo já contribuído com grandes avanços, tornando-se a principal referência internacional no assunto, quanto aos desenvolvimentos de metodologias e entendimento apurado das perdas nos sistemas. Pode-se citar como exemplos deste esforço a sistematiza-

Foto: ShutterStock

01_guia aesbe.indd 7 24/09/15 16:48

ção das metodologias existentes, anteriormente dispersas e pouco utilizadas, a melhor compreensão estabelecida sobre a relação entre vazamento e pressão, a modelagem de balanços hídricos, o desenvolvimento de indicadores de perdas mais adequados para análise e comparação dos sistemas, a análise de componentes das perdas, o emprego do conceito de Distrito de Medição e Controle como ferramenta de redução do tempo de conhecimento dos vazamentos entre muitas outras contribuições.

Neste contexto, uma ferramenta de especial importância para ajudar a entender o problema das perdas de água é a técnica chamada "balanço hídrico *top down*", destinada a permitir a quantificação e a tipificação das perdas reais e aparentes nos sistemas. Esta abordagem é inovadora, pois os sistemas de informação tradicionais, como o SNIS, por exemplo, costumam avaliar os sistemas desde uma perspectiva comercial e financeira e sem separar as perdas reais das perdas aparentes, o que pode levar a estratégias equivocadas de combate às perdas.

Em um momento em que as grandes empresas do setor de saneamento estão implantando sistemas corporativos para a produção de balanços hídricos e o próprio SNIS está sendo repensado para atender às demandas do marco regulatório do saneamento brasileiro, a AESBE preocupada com a questão da uniformização terminológica e de procedimentos para a prática de modelagem de balanços hídricos no âmbito das empresas associadas, iniciou esta discussão, por meio da CDO – Câmara Técnica de Desenvolvimento Operacional, que acabou resultando na publicação desta "Série Balanço Hídrico". Esta série contará com os seguintes Guias Práticos:

- Determinação do Volume de Entrada nos Sistemas de Abastecimento

Foto: ShutterStock

- Consumo Autorizado Não Faturado
- Estimativa de Submedição no Parque de Hidrômetros
- Consumo Não Autorizado e Volumes Não Apropriados por Falhas de Cadastro
- Balanço Hídrico e Indicadores de Desempenho Operacional

01_guia aesbe.indd 8 24/09/15 16:48

- Métodos Diretos para Obtenção de Perdas Reais.

A CDO reúne técnicos designados pelas empresas estaduais que possuem vínculo com a questão da gestão de perdas nos sistemas de abastecimento. Por seu regimento interno, à CDO compete elaborar propostas e atender necessidades técnicas da Instituição, em especial:

I – Oferecer subsídios para as manifestações da AESBE a respeito de problemas de ordem técnica relacionadas com a melhoria operacional das empresas membro;

II – Manter e disponibilizar material de referência sobre as atividades da CDO e provimento de conteúdo técnico para o portal da AESBE no que se refere ao seu escopo de atuação.

III – Criar grupos de trabalho para tornar mais ágil e eficiente o desenvolvimento de temas específicos relacionados ao escopo da CDO;

IV – Manter-se atualizada quanto aos desenvolvimentos técnicos e institucionais no âmbito das empresas e do setor, para a melhoria da eficiência na gestão operacional dos sistemas, promovendo a disseminação e intercâmbio de tecnologias e informações bem como a realização de eventos e capacitações;

Para a produção desta série de publicações, grupos de debate sobre o assunto foram montados no âmbito da CDO, de modo que os conteúdos ora publicados, foram fruto de consenso e aprovado pela Câmara Técnica.

Por meio desta série de Guias Técnicos a AESBE passa a recomendar procedimentos de cálculo para as empresas associadas com o objetivo de aprimorar a elaboração do Balanço Hídrico dos seus sistemas de abastecimento e permitir um melhor gerenciamento das perdas de água e do volume de água não faturada. Desse modo, também se busca o alinhamento na elaboração de indicadores que permitam o compartilhamento de experiências entre os operadores e repercuta no desenvolvimento do saneamento básico brasileiro, uma das metas principais da AESBE.

01_guia aesbe.indd 9 24/09/15 16:48

Foto: ShutterStock

GLOSSÁRIO

DE TERMOS PARA ENTENDER BALANÇO HÍDRICO

Os balanços hídricos são "balanços de massa" feitos com dados anuais, comerciais e operacionais, de uma mesma base física e temporal. Permitem a obtenção indireta dos volumes perdidos em vazamentos, chamados de perdas reais de água. O volume de perdas reais, isoladamente, é uma medida da ineficiência da infraestrutura do sistema, daí a necessidade de que os volumes correspondam a volumes reais e não àqueles porventura decorrentes de regras comerciais de negócio[1]. Esta é uma questão chave: é imprescindível não esquecer que pela abordagem do balanço hídrico, o sistema é visto pela perspectiva da infraestrutura, dando a possibilidade da geração de indicadores adequados para a avaliação do fenômeno das perdas de água.

Pode-se entender a técnica do balanço hídrico como uma técnica de modelagem: como se sabe, um modelo é uma aproximação da realidade, já que a realidade mesma nunca poderá ser conhecida. O balanço hídrico, por definição, é modelado para um Grau de Confiança de 95% e as incertezas de medição / estimativas associadas a cada dado de entrada idealmente devem ser informadas nos modelos.

1. No Brasil, muitas empresas costumam faturar um "consumo mínimo" quando os hidrômetros registram menos que um piso de 10 m³/mês por economia, no caso de usuários residenciais. Porém, para o balanço hídrico só importam os volumes efetivamente registrados pelos hidrômetros.

01_guia aesbe.indd 10 24/09/15 16:48

GLOSSÁRIO DE TERMOS DO BALANÇO HÍDRICO

VOLUME DE ENTRADA NO SISTEMA (VE)	Corresponde ao volume anual de água que ingressou efetivamente no(s) sistema(s) distribuidor(es). Seu equivalente no Glossário de Informações do SNIS é a informação AG006 – Volume de Água Produzido, assim definida: *"**Volume anual de água disponibilizada para os sistemas distribuidores**[2], compreendendo a água captada pelo prestador de serviços e a água bruta importada (AG016), ambas tratadas na(s) unidade(s) de tratamento do prestador de serviços, medido ou estimado na(s) saída(s) da(s) ETA(s) ou UTS(s). Inclui também os volumes de água captada pelo prestador de serviços ou de água bruta importada (AG016), que sejam disponibilizados para consumo sem tratamento, medidos na(s) respectiva(s) entrada(s) do sistema de distribuição."*
VOLUME FATURADO (VF)	Corresponde à soma do **Volume Faturado Medido com o Volume Faturado Não Medido**.
VOLUME FATURADO MEDIDO (VFM)	Volume anual de água medido pelos hidrômetros instalados nas ligações de água e que deram origem ao faturamento. O conceito é quase equivalente ao da informação AG008 do SNIS: Volume de Água Micromedido, exceto pelo fato que o SNIS restringe os consumos aos das ligações ativas.
VOLUME FATURADO NÃO MEDIDO (VFNM)	Volume anual de água entregue nas ligações sem hidrômetros e que foram faturadas. É preciso atentar ao fato de que as estimativas utilizadas para efeito de faturamento podem estar distantes da realidade, sobrestimadas ou subestimadas. No caso de subestimação, haverá uma parcela adicional de **consumo autorizado não medido** não faturado para compensar o volume de água anual entregue. No caso de sobrestimação, o volume excedente da estimativa considerada mais realista deve ser desprezado.
CONSUMO AUTORIZADO FATURADO (CAF)	Corresponde ao **Volume Faturado**. O termo "**Consumo Autorizado Faturado**" serve para se contrapor com "**Consumo Não Autorizado**" e também com "**Consumo Autorizado Não Faturado**".

2. O texto grifado diverge da definição do SNIS, que menciona "**água disponível para consumo**" o que não é verdade devido à ocorrência natural de perdas reais nos sistemas distribuidores.

01_guia aesbe.indd 11 24/09/15 16:48

GLOSSÁRIO DE TERMOS DO BALANÇO HÍDRICO

CONSUMO AUTORIZADO (CA)	Corresponde à soma de **Consumo Autorizado Faturado** com **Consumo Autorizado Não Faturado**.
CONSUMO AUTORIZADO NÃO FATURADO (CANF)	Corresponde à soma de **Volume Não Faturado Medido** com **Volume Não Faturado Não Medido**
VOLUME NÃO FATURADO MEDIDO (VNFM)	Corresponde a volumes anuais medidos, cujo uso é autorizado pelo prestador de serviços, mesmo sem terem gerado faturamento. Exemplo: Usos próprios, purgas de rede, lavagem de reservatórios, combate a incêndios, etc.
VOLUME NÃO FATURADO NÃO MEDIDO (VNFNM)	Corresponde a volumes anuais não medidos (portanto estimados), cujo uso é autorizado pelo prestador de serviços, mesmo sem terem gerado faturamento. Usos próprios, purgas de rede, lavagem de reservatórios, combate a incêndios, etc.
PERDAS APARENTES	Corresponde à soma dos volumes de **Consumo Não Autorizado** com os volumes de **Inexatidão do Hidrômetros e Erros no Manuseio de Dados**.
CONSUMO NÃO AUTORIZADO	Corresponde a volumes anuais de água entregues a usuários de forma não autorizada pelo prestador de serviços, como no caso de fraudes nos medidores, by passes e ligações clandestinas, ou outras formas peculiares à realidade do prestador de serviços.
SUBMEDIÇÃO DOS HIDRÔMETROS E ERROS NO MANUSEIO DE DADOS	Corresponde a volumes anuais de água entregues aos usuários que deixaram de ser registrados pelos hidrômetros, por ineficiência destes. Inclui ainda volumes não registrados devido a práticas erradas de leitura ou qualquer tipo de violação à integridade dos dados medidos pelos hidrômetros.
PERDAS REAIS	Corresponde ao volume anual obtido com a operação: **Volume de Entrada – Consumo Autorizado – Perdas Aparentes**, representando as perdas de água ocorridas em vazamentos no sistema.
PERDAS DE ÁGUA	Corresponde à soma do **Volume de Perdas Aparentes** com o **Volume de Perdas Reais**.

01_guia aesbe.indd 12 24/09/15 16:49

Figura 1 – Matriz do Balanço Hídrico

A matriz do balanço hídrico informa como os diversos componentes do balanço hídrico se relacionam e está apresentada na Figura 1.

1. VOLUME DE ENTRADA

NO SISTEMA E INCERTEZA DE MEDIÇÃO

"Não se gerencia o que não se mede, não se mede o que não se define, não se define o que não se entende, ou seja, não há sucesso no que não se gerencia (adaptado de W. Edwards Deming)".

A famosa frase de Deming é totalmente aplicável aos sistemas distribuidores de água e, por extensão, à temática de perdas de água. No Brasil ainda persiste extensamente a cultura das décadas de 70 e 80 do século passado, de se medir apenas a água bruta captada ou, no máximo a água que chega aos reservatórios de distribuição. Raramente são medidas as saídas dos reservatórios e as entradas dos setores de distribuição – o que equivale a dizer que raramente as perdas são de fato gerenciadas. Pior: ainda há

01_guia aesbe.indd 13 24/09/15 16:49

Foto: ShutterStock

muito a fazer em termos da própria setorização dos sistemas de abastecimento. Não será possível aplicar adequadamente ferramentas de análise de perdas, como é o caso do balanço hídrico, sem sistemas setorizados e a medição criteriosa dos volumes de entrada nos setores de abastecimento.

A técnica de modelagem de balanços hídricos ocupa-se de quantificar e tipificar o fenômeno das perdas no interior dos sistemas distribuidores e isso não é possível sem a medição de volumes de entrada, que são a principal grandeza nos balanços.

Sendo o Volume de Entrada a grandeza de maior porte no balanço hídrico sua mensuração errônea será fatal para a confiabilidade dos indicadores de desempenho do sistema. Aliás, qualquer que seja a técnica adotada para a obtenção das perdas a boa determinação do volume de entrada será um fator crítico para a confiabilidade dos resultados. Como nenhuma medição propicia resultados 100% verdadeiros, decorre a necessidade de se utilizar os conceitos de desvio padrão, para se estabelecer os limites de confiabilidade ou aceitabilidade dos resultados.

Coloca-se, pois, em evidência a necessidade de se apurar a incerteza de medição na quantificação dos volumes que irão alimentar os balanços hídricos.

Considerando a responsabilidade das companhias operadoras dos sistemas em dominar amplamente as técnicas de medição de vazão, inclusive as metodologias de cálculo de incerteza de medição, ainda muito pouco praticadas na maioria das companhias, idealizou-se este Guia Prático, procurando-se uma abordagem o mais simples possível.

Não por acaso, embora existam alguns bons manuais de macromedição em língua portuguesa (consulte-se as referências no último capítulo), nenhum deles se ocupa com uma abordagem prática do tema desvio padrão. Por esta razão, desafiando a complexidade e a aridez do assunto, este Guia dará ênfase a este tema, com o intuito de contribuir para o desenvolvimento desta temática no âmbito das empresas.

Desta forma, não pretende este Guia substituir outros manuais de macromedição, senão complementá-los com uma abordagem prática. Com este intuito, adicionalmente, este Guia utiliza um sistema em planilha eletrônica para determinação de vazões instantâneas com tubo pitot, onde se faz também o tratamento matemático para incerteza de medição. O Guia em si não pretende ser um tutorial do software em planilha, a não ser no que diz respeito ao tratamento da incerteza de medição. Softwares similares são amplamente empregados nas empresas, mas geralmente não tratam a incerteza de medição.

Ver-se-á que quem pode tirar proveito deste Guia são profissionais com bom conhecimento na área de macromedição de sistemas de abastecimento de água, ou seja, embora este seja um Guia Prático, não é de nível básico. O software estará disponível no site

01_guia aesbe.indd 14 24/09/15 16:49

da Aesbe (www.aesbe.org.br) para os profissionais das empresas associadas.

Ressalte-se ainda que o software foi desenvolvido com objetivos didáticos e possivelmente apresente lacunas ou possivelmente possa ser mal utilizada por operadores não suficientemente preparados. Assim sua utilização profissional será por conta e risco do usuário, não cabendo ao autor ou à Aesbe qualquer responsabilidade pelo uso indevido. Para os "planilheiros" de plantão o software, com as fórmulas abertas, constitui uma ferramenta didática adicional.

Tanto quanto possível procurou-se utilizar as referências normativas existentes, todavia em algumas situações foram supostas adaptações, como na situação prática de não se poder efetuar a medição em traverses ortogonais, conforme prevê a ABNT ISO 3966/2013.

Espera-se que a eventual utilização do software em trabalhos profissionais ou publicações seja reconhecida com as devidas citações.

2. MEDIÇÃO DE VOLUMES:
CARACTERÍSTICAS DOS MEDIDORES

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

A_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.

B_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 (Veja-se o Guia Prático de Macromedição, do PNCDA):

2.1 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 convertida 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

2.2 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

3. PNCDA – sigla para o extinto Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, programa do Ministério das Cidades que produziu e legou uma extensa série de publicações para o setor Saneamento, ainda disponível na internet.

01_guia aesbe.indd 15 24/09/15 16:49

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

2.3 Medidores eletrônicos

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

- Magnéticos
- Ultrassônicos
- Vórtice

2.4 Medidores volumétricos

Equipamentos no qual a vazão é determinada pelo número de vezes em que é preenchida uma câmara de volume conhecido. No Brasil, normalmente os medidores volumétricos são utilizados para a medição de consumos, porém em pequena escala.

2.5 Medidores de canal aberto

No Brasil este tipo de medidor geralmente está instalado na entrada das estações de tratamento de água, com a função de medir a água bruta e ao mesmo tempo facilitar a mistura de líquidos coagulantes utilizados na etapa de floculação de água bruta e, eventualmente, correção de pH.

Nestes equipamentos 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

Praticamente todos os medidores de vazão são influenciados pelo perfil de velocidades do escoamento. A tubulação na qual se instala o medidor de vazão deve ter sua secção transversal completamente cheia pela água e o escoamento deve ser turbulento, uniforme, completamente desenvolvido. A Figura 2 ilustra estas características.

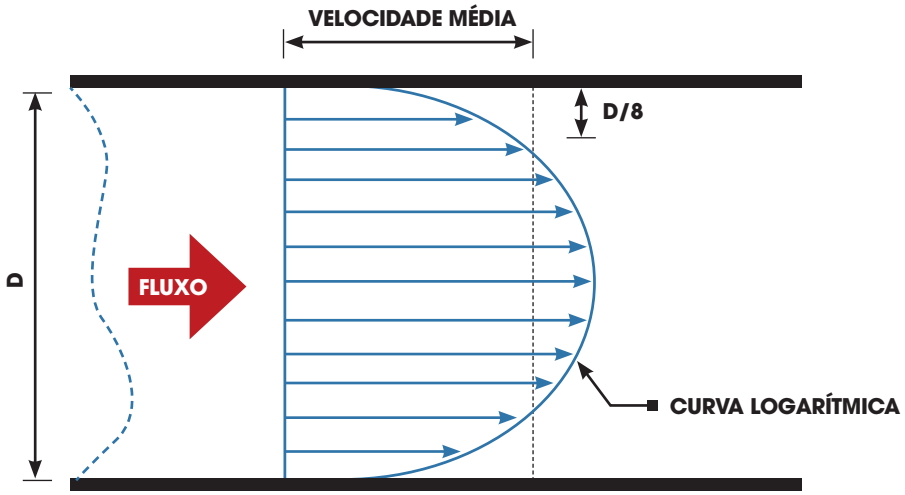


Figura 2 - Perfil típico de velocidades em uma secção cheia com escoamento turbulento uniforme.

01_guia aesbe.indd 16 24/09/15 16:49

Pelo fato das medições serem afetadas pelo perfil de velocidades, a instalação do medidor deve obedecer a comprimentos retos de tubulação à montante e à jusante. Estas distâncias estão especificadas nos catálogos dos fabricantes e nos manuais de macromedição.

3. DEFINIÇÃO E AVALIAÇÃO DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO

De maneira geral, a metodologia mais difundida para a estimativa das medições, reconhecida em nível mundial, está documentada no "Guia para a Expressão da Incerteza de Medição", tradução do "Guide to Expression of Uncertainty in Measurement" (conhecido como ISO GUM), publicado pela ISO, em colaboração com organismos técnicos e metrológicos internacionais e a OIML – Organização Internacional para a Metrologia Legal, documento que, formalmente, estabeleceu as regras gerais para avaliação e expressão da incerteza em medições em um amplo espectro de medidas.

Outra referência importante é o Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados (VIM 2008), que surge no contexto da metrologia mundial como uma busca da harmonização internacional das terminologias e definições utilizadas nos campos da metrologia e da instrumentação. A 1ª. edição brasileira do VIM 2008 define ***incerteza de medição*** como sendo o ***"parâmetro associado ao resultado de uma medição que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídos a um mensurando"***. Ou seja, a incerteza de medição é uma estimativa caracterizando a faixa de valores dentro da qual o valor verdadeiro da medição está.

Erro ou margem de erro em uma medição é conceituado como sendo a diferença entre os valores ***medido*** e o ***verdadeiro*** da quantidade medida. Como o valor verdadeiro não pode ser conhecido (razão pela qual se estabeleceu o conceito de incerteza de medição), a definição formal do ISO GUM para "incerteza de medição" destaca que a incerteza está relacionada a um valor de medição, que é o resultado da medição, e não ao valor verdadeiro do mensurando (que na prática não é conhecido). O resultado da medição é apenas a melhor estimativa de tal valor verdadeiro e, na ausência de efeitos sistemáticos, geralmente é obtido pela média aritmética de N medições repetidas do mesmo mensurando.

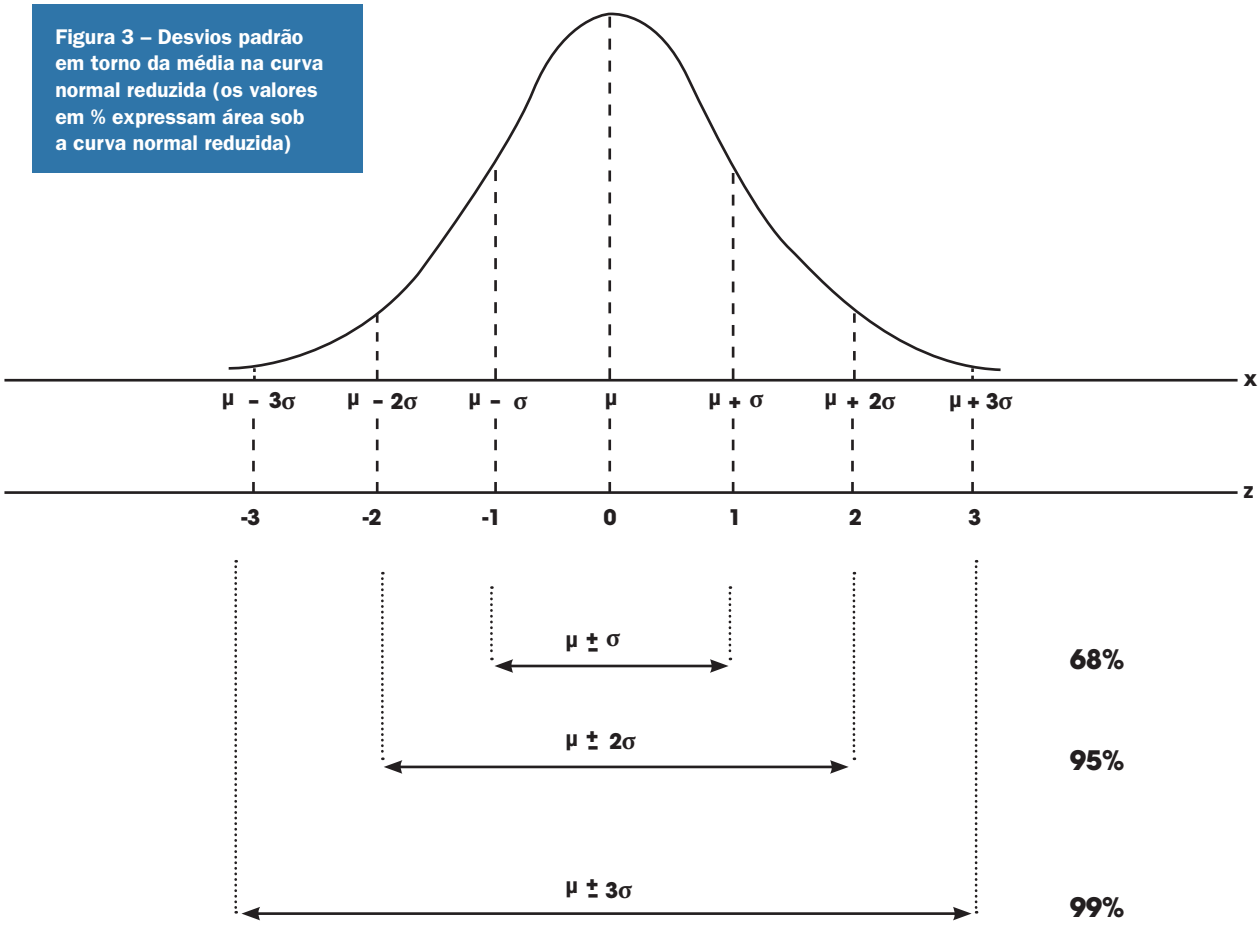
Nos casos em que uma distribuição normal (gaussiana) possa ser atribuída ao mensurando e a incerteza padrão (equivalente a um desvio padrão da média) associada à estimativa de saída tenha suficiente confiabilidade, o fator de abrangência padronizado k=2 deve ser utilizado para se obter a ***incerteza expandida***. A ***incerteza expandida*** (U) atribuída a uma medição corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95% (2 desvios-padrão na curva de distribuição normal reduzida), enquanto que a chamada ***incerteza padrão*** (u) corresponde a um desvio padrão,

01_guia aesbe.indd 17 24/09/15 16:49

ou aproximadamente 68% na curva normal reduzida (Figura 3).

A ***incerteza padrão combinada*** do resultado de uma medição, ocorre quando este resultado é obtido por meio dos valores de várias outras grandezas, sendo igual a raiz quadrada positiva de uma soma de termos, que constituem as variâncias e covariâncias destas outras grandezas, ponderadas de acordo com quanto o resultado da medição varia com mudanças nestas grandezas.

Figura 3 – Desvios padrão em torno da média na curva normal reduzida (os valores em % expressam área sob a curva normal reduzida)



A incerteza de medição compreende, em geral, muitos componentes. Alguns destes componentes podem ser estimados com base na distribuição estatística dos resultados das séries de medições e podem ser caracterizados por desvios padrão experimentais (Tipo A). Os outros componentes, que

01_guia aesbe.indd 18 24/09/15 16:49

também podem ser caracterizados por desvios padrão, são avaliados por meio de distribuição de probabilidade assumidas baseadas na experiência ou em outras informações (Tipo B).

Com os princípios consagrados no ISO GUM, pode-se construir uma estrutura para o cálculo da incerteza de medição de resultados, conforme as seguintes etapas:

1. MODELAGEM DO SISTEMA DE MEDIÇÃO:
1.1 Objetivo da medição;
1.2 Preparação do experimento, e
1.3 Identificação das variáveis aleatórias e a relação funcional associada ao processo de medição;

2. IDENTIFICAÇÃO DE TODAS AS FONTES DE INCERTEZA;
2.1 Tipo A – Incerteza devida a flutuações aleatórias em alguma variável medida.
2.2 Tipo B – Incerteza atribuível a limitações intrínsecas dos instrumentos utilizados, condições de instalação e outras limitações da medição ou dos cálculos necessários para se chegar ao valor final da medida.
3. QUANTIFICAÇÃO DAS FONTES DE INCERTEZA E DETERMINAÇÃO DA ESTIMATIVA DO VALOR DO MENSURANDO;
4. CÁLCULO DA INCERTEZA-PADRÃO PARA CADA FONTE DE INCERTEZA;
5. CÁLCULO DA INCERTEZA-PADRÃO COMBINADA;
6. CÁLCULO DA INCERTEZA EXPANDIDA, E
7. EXPRESSÃO DO RESULTADO.

4. INCERTEZA
DE MEDIÇÃO EM LEVANTAMENTOS PITOMÉTRICOS

As técnicas de pitometria ainda são insubstituíveis em muitas medições em campo, principalmente se resta dúvida quanto aos resultados dos medidores ultrassônicos portáteis, hoje em dia muito utilizados. As medições pitométricas são robustas e propiciam o maior grau de controle possível sobre as variáveis da medição, possibilitando inclusive a checagem dos diferenciais de pressão pela inversão dos tipos do tubo Pitot, em relação à direção do fluxo [4]. Como o perfil de velocidades é constatado em campo pela técnica pitométrica, qualquer anormalidade pode ser vista e corrigida, o que não pode ser feito por outros medidores; outras ocorrências como ar na rede e baixas velocidades também podem ser constatadas quando se emprega a técnica pitométrica, devido a possibilidade de acesso físico à secção medida. Nenhuma outra técnica de medição de vazão em campo dá mais segurança do que o ensaio pitométrico em condições de pouca informação sobre as variáveis que intervêm nos cálculos de vazão.

Tipicamente boas medições pitométricas propiciam incertezas de medição em torno de 2%, nas condições preconizadas pela norma ABNT ISO 3966/2013 (Medição de vazão em condutos fechados – método velocimétrico utilizando tubos de pitot estático), embora possam ocorrer variações para

4. Lembrar que, quando este procedimento é feito no meio de um teste, é preciso também inverter as ligações de pressão estática e diferencial no sensor.

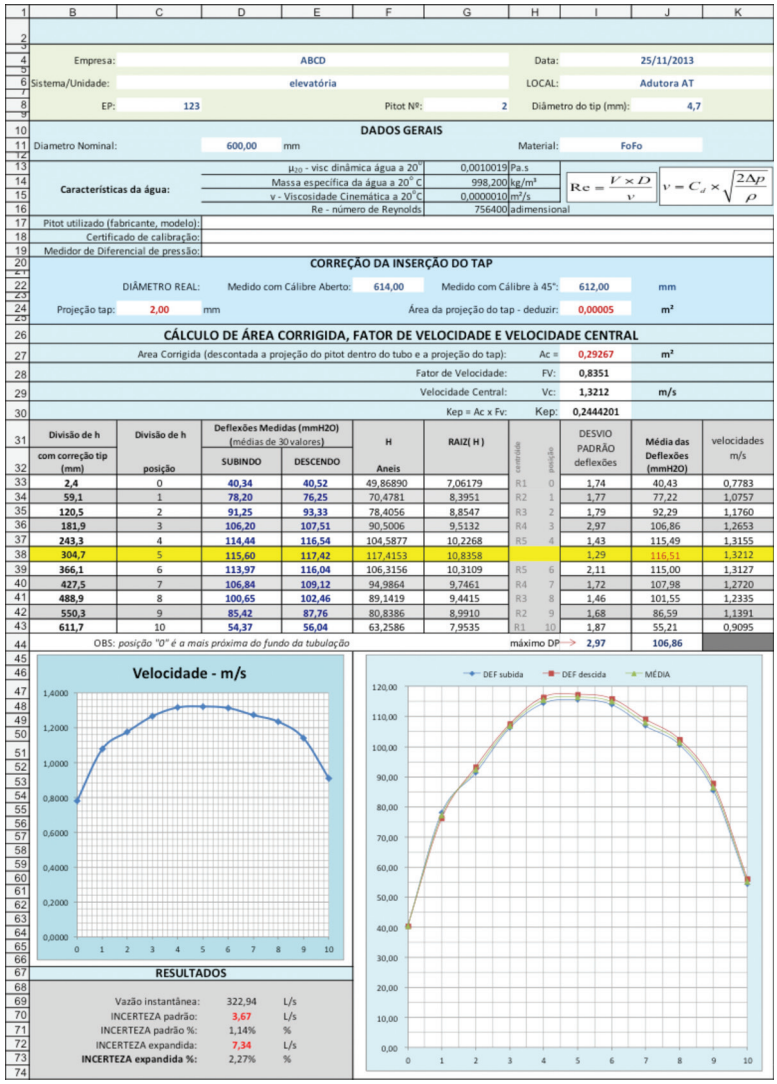
01_guia aesbe.indd 19 24/09/15 16:49

mais ou para menos, dependendo das condições da instalação e do esmero na aplicação da técnica.

Quando se utiliza a pitometria como recurso de aceitação de resultados dos medidores em campo, recomenda-se que a incerteza de medição a ser considerada para os Volumes de Entrada nos balanços hídricos seja a que resulta desta técnica, principalmente se os medidores aferidos possuírem (teoricamente) incertezas menores – caso dos medidores ultrassônicos e eletromagnéticos. Este critério vem a favor da segurança, dada a impossibilidade ou grande dificuldade de calibrar, do ponto de vista metrológico, os medidores em campo.

Mostra-se na Figura 5 um exemplo de levantamento pitométrico com quantificação de incerteza em uma medição com tubo pitot. A planilha eletrônica com este exemplo está disponível no site da Aesbe, com as fórmulas abertas, para os interessados. Vamos utiliza-la como um recurso didático para explicar o cálculo da incerteza de medição em um levantamento pitométrico, já que esta técnica é a mais fácil e segura para utilizar em aferições de campo. A identificação de linhas e colunas na Figura 5 é para permitir referências a células na planilha ao longo do texto.

Figura 4 – Exemplo: uma das interfaces do software disponibilizado em planilha eletrônica, para levantamentos pitométricos, com cálculo de incerteza da medição.



Divisão de h com correção tip (mm)	Divisão de h posição	Deflexões Medidas (mmH2O) (médias de 30 valores) SUBINDO	DESCENDO	H Aneis	RAIZ(H)	central	posição	DESVIO PADRÃO deflexões	Média das Deflexões (mmH2O)	velocidades m/s
2,4	0	40,34	40,52	49,86890	7,06179	R1	0	1,74	40,43	0,7783
59,1	1	78,20	76,25	70,4781	8,3951	R2	1	1,77	77,22	1,0757
120,5	2	91,25	93,33	78,4056	8,8547	R3	2	1,79	92,29	1,1760
181,9	3	106,20	107,51	90,5006	9,5132	R4	3	2,97	106,86	1,2653
243,3	4	114,44	116,54	104,5877	10,2268	R5	4	1,43	115,49	1,3155
304,7	5	115,60	117,42	117,4153	10,8358			1,29	116,51	1,3212
366,1	6	113,97	116,04	106,3156	10,3109	R5	6	2,11	115,00	1,3127
427,5	7	106,84	109,12	94,9864	9,7461	R4	7	1,72	107,98	1,2720
488,9	8	100,65	102,46	89,1419	9,4415	R3	8	1,46	101,55	1,2335
550,3	9	85,42	87,76	80,8386	8,9910	R2	9	1,68	86,59	1,1391
611,7	10	54,37	56,04	63,2586	7,9535	R1	10	1,87	55,21	0,9095
OBS: *posição "0" é a mais próxima do fundo da tubulação*							máximo DP →	2,97	106,86	

01_guia aesbe.indd 20 24/09/15 16:49

Figura 5 – Modelo de relatório de campo para preparação de levantamento pitométrico

RELATÓRIO DE CAMPO PARA LEVANTAMENTO PITOMÉTRICO

Empresa:		Data:	
Estação Pitométrica:		Hora:	
Unidade:		Local:	
Sistema:			

Dados da Tubulação

Diâmetro Nominal:	mm	Material:	
Diâmetro do TAP:	mm	Q_{max} prevista na EP:	

OBJETIVO DO ENSAIO:

CROQUI DAS INSTALAÇÕES:

Indicar comprimento dos trechos retos a montante e a jusante do TAP, singularidades a montante e jusante, local da instalação se rua ou calçada e qualquer outra indicação relevante

CONDIÇÕES DO PV OU CAIXA DE ABRIGO:

Condições do acesso:	
Inundado?:	
É possível o acesso de luz solar?:	
É possível o acesso à energia elétrica?:	
Há possibilidade de falta de oxigênio?	
Tem sinais de vandalismo?	
É necessário sinalização local?	
Providências de manutenção a tomar:	

EQUIPAMENTOS A SEREM UTILIZADOS

Tubo Pitot - comprimento - mm:	Data Calibração:
Marca:	Incerteza expandida:
Sensor de diferencial de pressão - range:	Data Calibração:
Marca:	Incerteza expandida:
Data logger - marca, capacidade:	
Outros:	
OBSERVAÇÕES:	

A Figura 6 apresenta um modelo para relatório de campo para identificar a estação pitométrica e sua usabilidade.

4.1 Modelagem do sistema de medição

a. Objetivo: No exemplo utilizado para efeitos didáticos, será feito levantamento de vazão instantânea em uma adutora de água tratada de ferro fundido, 600 mm de diâmetro nominal, que tem papel na transferência de água de uma elevatória para um reservatório setorial.

b. Preparação do ensaio: Verificar a atualidade da calibração dos instrumentos; levantar e avaliar dados de campo, preenchendo um formulário como o da Figura 6.

c. Identificação das variáveis aleatórias e a relação funcional associada ao processo de medição. A variável aleatória na medição de vazão com pitot são as medidas de diferencial de pressão. Estas medidas são convertidas em velocidade através da relação:

$$v = C_d \times \sqrt{\frac{2\Delta p}{p}}$$

onde, v é a velocidade do fluxo, Cd é um coeficiente dado pela calibração do tubo pitot em laboratório, Δp é a pressão diferencial e p é a massa específica da água a 20°.

Para minimizar o erro aleatório sugere-se utilizar um sensor de diferencial de pressão e um *data logger* para coleta e armazenamento dos dados a cada 1 (um) segundo. Para cada ponto em que se posiciona o tubo pitot coleta-se ao menos 30 valores de pressão diferencial na subida e 30 valores de pressão diferencial na descida. Uma vez descarregados do equipamento registrador, os dados são cortados e organizados em uma planilha do tipo mostrado a seguir.

01_guia aesbe.indd 21 24/09/15 16:49

Figura 6 – Exemplo de planilha para tabulação dos dados coletados de pressão diferencial

LEVANTAMENTO EM CAMPO DAS DEFLEXÕES

(dados já cortados)

D	Data	Hora	PONTO 0	Hora	PONTO 1	Hora	PONTO 2	Hora	PONTO 3
1	25/11/13	14:01:00	41,94	14:03:00	77,82	14:04:30	91,02	14:06:10	105,02
2	25/11/13	14:01:01	41,68	14:03:01	77,59	14:04:31	93,43	14:06:11	107,88
3	25/11/13	14:01:02	39,71	14:03:02	77,25	14:04:32	93,12	14:06:12	107,46
4	25/11/13	14:01:03	40,92	14:03:03	76,41	14:04:33	93,47	14:06:13	107,42
5	25/11/13	14:01:04	39,37	14:03:04	77,41	14:04:34	93,19	14:06:14	107,57
6	25/11/13	14:01:05	41,50	14:03:05	76,39	14:04:35	93,92	14:06:15	104,43
7	25/11/13	14:01:06	39,90	14:03:06	77,58	14:04:36	93,02	14:06:16	104,56
8	25/11/13	14:01:07	39,23	14:03:07	76,65	14:04:37	92,25	14:06:17	107,82
9	25/11/13	14:01:08	41,19	14:03:08	76,05	14:04:38	92,66	14:06:18	104,66
10	25/11/13	14:01:09	39,42	14:03:09	77,93	14:04:39	93,98	14:06:19	104,23
11	25/11/13	14:01:10	40,78	14:03:10	77,05	14:04:40	93,27	14:06:20	107,21
12	25/11/13	14:01:11	39,17	14:03:11	76,37	14:04:41	93,14	14:06:21	105,05
13	25/11/13	14:01:12	40,20	14:03:12	77,34	14:04:42	92,66	14:06:22	104,21
14	25/11/13	14:01:13	39,81	14:03:13	77,33	14:04:43	93,19	14:06:23	104,83
15	25/11/13	14:01:14	39,40	14:03:14	76,61	14:04:44	93,19	14:06:24	104,93
16	25/11/13	14:01:15	40,43	14:03:15	77,04	14:04:45	92,95	14:06:25	104,24
17	25/11/13	14:01:16	39,62	14:03:16	77,36	14:04:46	93,99	14:06:26	104,41
18	25/11/13	14:01:17	41,94	14:03:17	76,44	14:04:47	93,76	14:06:27	107,39
19	25/11/13	14:01:18	40,54	14:03:18	76,90	14:04:48	92,38	14:06:28	107,41
20	25/11/13	14:01:19	41,57	14:03:19	77,89	14:04:49	93,53	14:06:29	104,25

Note-se que a planilha acima é apenas ilustrativa, parcialmente apresentada, pois teremos 11 pontos de medição no traverse e 60 dados em cada ponto (30 pontos na subida e 30 pontos na descida).

01_guia aesbe.indd 22 24/09/15 16:49

4.2 Identificação de todas as fontes de incerteza.

Dentre as muitas fontes de incerteza, neste Guia consideraremos as mais significativas. Estes parâmetros são considerados também na ABNT ISO 3966/2013. Todas as colunas da Figura 8 serão explicadas nos próximos passos.

Figura 7: Fontes de incerteza na medição pitométrica

FONTES DE INCERTEZA NA MEDIÇÃO PITOMÉTRICA

	Identificação dos parâmetros	Definição	Unidade	Estimativa do mensurando	Incerteza padronizada u(xi)	Distribuição de probabilidade
INCERTEZA DA VELOCIDADE NOS PONTOS DA SECÇÃO						
1	ΔP	Incerteza da flutuação dos diferenciais de pressão (tipo A)	mmH_2O	0	$\mu_{x(i)} = \frac{9,79 \times \Delta P}{\sqrt{n}}$	Normal
2	ΔP	Incerteza da pressão diferencial registrada pelo sensor (tipo B)	Pa	medida	0,006*ΔP	Normal
3	C_d	Coeficiente de calibração médio para cálculo de velocidade com o tubo pitot dado pelo certificado de calibração	adim	0,874	0,0045	Normal
4		Massa específica da água a 20o C	kg/m^3	998,200	0,15%*ρ/(2*raiz(3))	Retangular
5		Gradiente de velocidade	m/s	0	0,15%xV	Normal
6		Inclinação do tubo pitot em relação ao fluxo	m/s	0	0,15%xV	Normal
7		Incerteza devido à correção da bloqueio da secção pelo tubo pitot	m/s	0	0,5%xV	Normal
8		Incerteza devida à assimetria do perfil	m/s	0	calculada na planilha "Assimetria"	Normal
INCERTEZA DA VAZÃO PELO TUBO PITOT						
9	I_{VM}	Incerteza da velocidade média	m/s	calculado	resulta do cálculo da incerteza da velocidade	Retangular
10	I_A	Incerteza da avaliação da área da seção	m^2	calculado	$u_{x(i)} = \frac{A_{min} - A_{max}}{2\sqrt{3}}$	Retangular

Destas fontes de incerteza, apenas a de número 1 é uma incerteza tipo A, atribuível a variações aleatórias nos dados.

01_guia aesbe.indd 23 24/09/15 16:49

4.3 Quantificação das fontes de incerteza e determinação da estimativa do valor do mensurando.

Incerteza devida à flutuação dos diferenciais de pressão: A estimativa do mensurando para a incerteza decorrente de variações aleatórias nos dados coletados para o diferencial de pressão (incerteza tipo A) é um valor nulo neste caso (a contribuição do mensurando já está considerada no parâmetro 2.

Incerteza da pressão diferencial registrada pelo sensor (tipo B): A estimativa do mensurando para o cálculo da incerteza do sensor de pressão diferencial (parâmetro 2 na Figura 8) é calculado, em pascal, como sendo:

Δp = 9,79* (*deflexão média correspondente ao ponto onde ocorre o máximo desvio padrão)*.

Coeficiente de calibração do tubo pitot: Este parâmetro é dado pelo certificado de calibração do tubo pitot. No caso deste exemplo, estamos utilizando o valor 0,874, que será a estimativa do mensurando.

Massa específica da água a 20º. Este parâmetro está fixado em 998,2 kg/m³.

Parâmetros 5, 6, 7 e 8: Os valores estimativos para os mensurandos são nulos também nestes casos. O parâmetro 2 já estará fornecendo a contribuição do mensurando para os cálculos de incerteza.

Parâmetros 9 e 10. A velocidade central e a área da secção são valores calculados e serão tomados como estimativas dos mensurandos respectivos (Veja-se estes parâmetros na Figura 5).

4.4 Cálculo da incerteza-padrão para cada fonte de incerteza.

Lembrar que a incerteza padrão (u) de x(i) corresponde a um desvio padrão da grandeza física x(i).

Incerteza devida à flutuação dos diferenciais de pressão. Calcula-se o desvio padrão dos dados coletados em cada um dos pontos do traverse e localiza-se o maior desvio padrão encontrado entre todos os 11 pontos. A deflexão média correspondente ao ponto onde ocorre o máximo desvio padrão será tomado como Δp na fórmula. A incerteza padronizada, já transformada de mmH20 para pascal, será dada por:

ux(i)=9,79*(Δp do máximo DP)/raiz(n),

onde n=60 (número de dados coletados em cada ponto).

Incerteza da pressão diferencial registrada pelo sensor (tipo B). O fabricante do sensor de pressão diferencial fornecerá a incerteza expandida do equipamento no certificado de calibração ou catálogo. Para se obter a incerteza padrão, em pascal, basta dividir a incerteza expandida por 2 e multiplicar pela estimativa do mensurando.

Coeficiente de calibração do tubo pitot. O fabricante do tubo pitot fornecerá a incerteza expandida do equipamento no certificado de calibração. Para se obter a incerteza padrão, basta dividir a incerteza expandida por 2. Não é necessário multiplicar pelo mensurando, caso a incerteza já esteja expressa na mesma unidade.

Massa específica da água a 20o.(ρ) . A incerteza deste parâmetro é calculada pela fórmula:

ux(i)= 0,15%*ρ/(2*raiz(3))

Gradiente de velocidade (interferência do tubo pitot no fluxo). A ISO 3966 sugere utilizar 0,15% da velocidade calculada (no ponto onde ocorre o máximo desvio padrão nas deflexões).

01_guia aesbe.indd 24 24/09/15 16:49

Inclinação dos tips do tubo pitot em relação ao fluxo. A ISO 3966 sugere utilizar 0,15% da velocidade calculada.

Efeito do bloqueio da secção pelo tubo pitot. A ABNT ISO 3966 sugere usar 0,25%, mas os tubos pitot considerados pela norma não são do tipo Cole. Assim, esta incerteza foi estimada conservadoramente em 0,5% da velocidade medida, por falta de melhores dados na literatura.

Inclinação do tubo pitot em relação ao fluxo. Esta incerteza é estimada em 0,15% da velocidade medida (no ponto onde ocorre o máximo desvio padrão nas deflexões).

Incerteza decorrente da assimetria do perfil de velocidades. Normalmente ocorre assimetria nos perfis de velocidade, isto pode ser constatado simplesmente olhando-se para os gráficos de velocidade na secção de medição. O ideal seria levantar o perfil em dois diâmetros (traverses) ortogonais um ao outro, um na vertical e outro na horizontal, mas normalmente as estações pitométricas das companhias no Brasil não estão preparadas para isso.

Por esta razão, iremos estimar a assimetria do perfil de velocidades supondo que a assimetria ocorrida no levantamento do traverse vertical ocorreria também em um traverse horizontal, no caso em que este não seja levantado. Basicamente o que se faz é levantar a média de velocidades em cada raio do traverse vertical e do traverse horizontal. Calcula-se a média e o desvio padrão para o conjunto dos 4 valores. Calcula-se o índice de assimetria, que é o desvio padrão sobre a velocidade média. A incerteza devida à assimetria será calculada como sendo 14% do índice de assimetria (ISO 7194/83).

Tabela 1 – Exemplo de cálculo de incerteza devida à assimetria do perfil de velocidades

CÁLCULO DE INCERTEZA DEVIDA À ASSIMETRIA DO PERFIL DE VELOCIDADES

pontos	Média das deflexões	velocidades	Vinf	Vsup	Vdir	Vesq	Vm	DPv	Indice Assim	Incerteza para 4 Raios m/s
0	40,49	0,7789	1,1560		1,1949		1,175	0,022	0,019	0,0027
1	77,09	1,0747								
2	92,99	1,1804								
3	106,86	1,2653								
4	115,49	1,3155								
5	116,51	1,3212		1,1949		1,1560				
6	113,25	1,3027								
7	108,40	1,2744								
8	100,85	1,2293								
9	86,36	1,1375								
10	54,57	0,9043								

01_guia aesbe.indd 25 24/09/15 16:49

Foto: ShutterStock

A incerteza da velocidade média resultará do cálculo da incerteza da velocidade, que será explicada mais adiante. Assume-se que a variável velocidade média responde conservadoramente a uma distribuição de probabilidade retangular, ao contrário das anteriores, que foram assumidas como tendo características de normalidade na distribuição de probabilidade.

A incerteza da área da secção é assumida também como tendo uma distribuição de probabilidade retangular e será calculada pela fórmula:

$$u_{x(i)} = \frac{A_{min} - A_{max}}{2\sqrt{3}}$$

Onde,

A_{min} = Área da secção do tubo com diâmetro 4 mm inferior à medida

A_{max} = Área da secção do tubo com diâmetro 1 mm superior à medida

A suposição para o cálculo da área mínima (diâmetro 4 mm inferior) considera a ocorrência eventual de incrustrações não tocadas pelo calibre. A suposição para o cálculo da área máxima (diâmetro 1 mm superior) seria o eventual erro de paralaxe na leitura visual da régua de aço manuseada pelo operador do Pitot durante a determinação do diâmetro.

No caso do exemplo, o cálculo da incerteza padronizada com os critérios mencionados resultou:

CÁLCULO DE INCERTEZA DA ÁREA DA SECÇÃO	
Diâmetro da área corrigida	0,6140^{m}
Amax Área com Diâmetro+1mm	0,2971$^{m^2}$
Amin Área com Diâmetro-4mm	0,2922$^{m^2}$
Amin - Amax	-0,00481$^{m^2}$
Incerteza padrão (Dist. Retangular)	-0,00139$^{m^2}$

01_guia aesbe.indd 26 24/09/15 16:49

4.5 Cálculo da Incerteza Padrão Combinada

A incerteza padrão combinada do resultado de uma medição, corresponde à raiz quadrada positiva de uma soma de termos, que constituem as variâncias e covariâncias destas grandezas, ponderadas de acordo com quanto o resultado da medição varia com mudanças nestas grandezas. As Figuras 8 e 9 ilustram como fazer este cálculo, em duas etapas, com os dados do exemplo demonstrativo que estamos utilizando.

Figura 8 - Exemplo de cálculo para a incerteza da velocidade

ETAPA 1 – CÁLCULO DA INCERTEZA DA VELOCIDADE

CÁLCULO DA INCERTEZA DA VELOCIDADE

v =	1,27	m/s
Cd=	0,874	
ΔP=	1046	Pa
ρ=	998,200	kg/m³

$$v = C_d \times \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$

Descrição do mensurando - xi	Estimativa do mensurando (xi)	Distribuição de probabilidade	Incerteza padronizada u(xi)	Coeficiente de sensibilidade ci	ci*xi	Incerteza combinada (ci*u(xi))^2	Contribuição individual (%)
Diferenciais de pressão (tipo A)	0	Normal	3,7581	0,00060478	0,0000	0,00000517	4,38%
Pressão diferencial (tipo B)	1046	Normal	6,2767	0,00060478	0,6327	0,00001441	12,22%
Coeficiente de descarga	0,8740	Normal	0,0045	1,44776	1,2653	0,00004244	35,99%
Massa específica da água a 20°	998,20	Retangular	0,4322	-0,00063	-0,6327	0,00000008	0,06%
Gradiente de velocidade	0	Normal	0,0019	1,00000	0,0000	0,00000360	3,06%
Inclinação do tubo pitot em relação ao fluxo	0	Normal	0,0019	1,00000	0,0000	0,00000360	3,06%
Correção do bloqueio	0	Normal	0,0063	1,00000	0,0000	0,00004003	33,95%
Assimetria do perfil	0	Normal	0,0029	1,00000	0,0000	0,00000859	7,28%
Totais					1,2653	0,00011792	100,00%
				incerteza padrão		0,0109 m/s	
				incerteza padrão %		0,86%	

A velocidade calculada na célula B2 da Tabela 2 utiliza a fórmula mostrada logo à direita. O valor de ΔPnesta fórmula origina-se na célula J44 da planilha mostrada na Figura 5 e o valor está convertido para Pascal (1 mmH20=9,79 Pa para água a 20oC). P=998,2 kg/m³ é a massa específica da água a 20oC.

A incerteza padronizada relativa à obtenção dos diferenciais de pressão, calculada na célula D10, é

ux(i)=9,79*2,97/(60)2

onde 9,79 é o fator de conversão para Pascal, 2,97 foi obtido na célula I41 (máximo desvio padrão) mostrado na Figura 5 e 60 é o número de dados coletados em cada ponto de medição do traverse (30 valores na subida e 30 valores na descida).

A incerteza padronizada relativa ao desempenho do sensor de pressão diferencial (tipo B, portanto) é obtida na célula D11 pela multiplicação da incerteza padrão do sensor (0,45%) pela estimativa do mensu-

01_guia aesbe.indd 27 24/09/15 16:49

rando, no caso 1046 Pa (célula B11).

Seguem-se os cálculos dos demais parâmetros conforme já explicado em 3.1.4.

O "coeficiente de sensibilidade" é geralmente obtido por derivação direta e explica como a velocidade varia em função do parâmetro analisado. Por exemplo, considerando a fórmula de velocidade:

$$v = C_d \times \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$

Vamos analisar como a velocidade se comporta em relação a cada um dos parâmetros que intervêm em seu cálculo, usando derivadas:

a) Derivada da velocidade em função do coeficiente de calibração do pitot:

$$\frac{dv}{dC} = C_d^{\,0} \times \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$

b) Derivada da velocidade em função do diferencial de pressão:

$$\frac{dv}{dp} = 0{,}874 \times \left(\frac{2}{\rho}\right)^{1/2} \times \left(\frac{1}{2}\Delta p^{-1/2}\right)$$

c) Derivada da velocidade em função da massa específica:

$$\frac{dv}{d\rho} = 0{,}874 \times \sqrt{2 \times \Delta p} \times \left(-\frac{1}{2} \times \rho^{\left(\frac{-3}{2}\right)}\right)$$

O coeficiente de sensibilidade assume o valor 1 quando a variação da velocidade é diretamente proporcional à variação da grandeza analisada.

A coluna c(i)*x(i) multiplica os coeficientes de sensibilidade pelas estimativas dos mensurandos, para permitir o cálculo do $\sum$ c(i)*x(i).

A coluna (c(i)*u(xi))2 multiplica os coeficientes de sensibilidade pelas incertezas respectivas, elevando os resultados ao quadrado. O somatório desta coluna representa a combinação das variâncias e covariâncias de todos os parâmetros considerados. A raiz quadrada deste somatório representa o desvio padrão em m/s da combinação de todos os parâmetros.

A incerteza padrão em porcentual será resultado da divisão da incerteza padrão combinada pelo valor calculado para a velocidade.

A incerteza da vazão será dada pela combinação da incerteza da determinação de velocidade média pela incerteza de determinação da área da secção.

A incerteza padrão da velocidade foi determinada no passo anterior e no caso do exemplo é u = 0,0109 m/s. A incerteza padrão da determinação da área da secção foi calculada em 3.1.4 e para o caso em pauta foi estimada em u = -0,0014 m².

A Tabela 3 apresenta a combinação das incertezas e a incerteza padrão da determinação de vazão, no exemplo em pauta igual a 0,0367.

4.6 Cálculo da Incerteza Expandida

A incerteza expandida é obtida:

U = 2u = 2*0,00367 = 0,0734 m³/s, ou 2,27% da vazão calculada.

4.7 Expressão do Resultado

Finalmente, a expressão do resultado.

Vazão instantânea:	**322,94**	**L/s**
INCERTEZA padrão:	**3,67**	**L/s**
INCERTEZA padrão %:	**1,14%**	**%**
INCERTEZA expandida:	**7,34**	**L/s**
INCERTEZA expandida %:	**2,27%**	**%**

Veja-se também a Figura 5.

01_guia aesbe.indd 28 24/09/15 16:49

Figura 9 - Exemplo de cálculo para a incerteza da vazão

ETAPA 2 – CÁLCULO DA INCERTEZA DA VAZÃO

CÁLCULO DA INCERTEZA DA VAZÃO PELO TUBO PITOT

Q =	0,3229	m³/s
V=	1,3212	m/s
A=	0,2927	m²

$$Q = V \times A \qquad \frac{dQ}{dA} = V \times A^0 = V \qquad \frac{dQ}{dV} = V^0 \times A = A$$

Descrição do mensurando - xi	Estimativa do mensurando	Distribuição de probabilidade	Incerteza padronizada u(xi)	Coeficiente de sensibilidade ci	ci²xi	Incerteza combinada (ci²u(xi))^2	Contribuição individual (%)
Velocidade média	1,3212	Retangular	0,0109	0,2927	0,3867	0,00001010	75,00%
Área da secção	0,2927	Retangular	-0,0014	1,3212	0,3867	0,00000337	25,00%
Totais					0,7734	0,00001347	100,00%

incerteza padrão	0,004	m³/s
incerteza padrão %	1,136%	
incerteza expandida	0,007	m³/s
incerteza expandida %	2,27%	

5. CALIBRAÇÃO

EM LABORATÓRIO E ENSAIOS DE MEDIDORES EM CAMPO

Calibração de um instrumento de medição 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.

O termo aferição em campo é comumente utilizado no saneamento. A aferição em campo não pode ser considerada como calibração do ponto de vista metrológico, a calibração só pode ser feita em laboratórios oficiais credenciados.

A Unidade de Negócios Metropolitana da SABESP, por exemplo, não utiliza o termo aferição em campo e desenvolveu procedimentos para o que chamou de Ensaios de Aceitação, estabelecendo patamares de incerteza admissíveis conforme a natureza do ensaio, se para transferência de custódia, transferência interna ou controle operacional.

Calibrações ou ensaios de campo são necessários porque os medidores instalados tendem a perder capacidade de registro, com o passar do tempo. Esta perda de capacidade de registro é variável conforme a tecnologia do medidor e as condições de instalação.

Medidores velocimétricos, por possuírem partes móveis em contato com a água, tendem a se des-

01_guia aesbe.indd 29 24/09/15 16:49

gastar rapidamente. Recomenda-se para este tipo de medidor calibrações com manutenção preventiva a cada 6 meses ou 8 meses, no máximo, de operação.

No caso de medidores eletrônicos (eletromagnéticos e ultrassônicos), embora não possuam partes móveis, possuem sensores que podem ou não estar em contato com a água. Em qualquer caso a ação do ambiente, ar, água, correntes elétricas, campos magnéticos, etc. afetará com o tempo o funcionamento destes sensores e os medidores precisarão de calibração e manutenção preventiva. O período entre calibrações poderá variar entre 12 e 24 meses dependendo do tipo de medidor, da importância dos volumes medidos e das condições de instalação.

No caso de linhas de adução de importância especial, como por exemplo, aquelas destinadas para fornecimento de água no atacado é recomendável prever tubulação paralela (by pass) também equipada com macromedidor para que se possa fazer manutenção e calibração sem interrupção do processo de medição.

Publicação do IRAR – Instituto de Regulação de Águas e Resíduos (atualmente ERSAR – Entidade Reguladora de Serviços de Água e Resíduos) de Portugal, chamada "Medição de caudal em sistemas de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais urbanas" recomenda como períodos de recalibração os constantes no Quadro 2.

Quadro 2 - Valores indicativos do período de recalibração para macromedidores utilizados para faturamento

	PERÍODO DE RECALIBRAÇÃO - meses	
TIPO DE MACROMEDIDOR TUBULAR	**DN do primário < DN 400**	**DN do primário ≥ DN 400**
Eletromagnético	**18**	**24**
Ultrassônico de tempo de trânsito	**18**	**24**
Ultrassônico Doppler	**12**	**18**
Deprimogêneo (DN do primário é DN da tubulação)	**18**	**24**

A publicação acrescenta que se os macromedidores servirem apenas como controle operacional estes períodos podem ser acrescidos em mais 6 meses. No caso de medidores ultrassônicos portáteis, o período recomendado de recalibração é de 12 meses.

01_guia aesbe.indd 30 24/09/15 16:49

5.1 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.

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 muitas vezes 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 se proceder a calibrações de medidores de vazão em laboratórios, já que, por seu porte, não poderiam ser removidos ou desassociados de seu ponto de instalação, recomenda-se neste guia a determinação de vazão em campo por técnicas de pitometria ou ultrassônicas como sendo o processo de medição de referência – ou ensaio de aceitação. Idealmente, este processo se aplicaria para medidores de 300 mm ou maiores.

5.2 Calibração de macromedidores velocimétricos e pequenos medidores eletrônicos

No caso de pequenos medidores de vazão eletrônicos (por exemplo, até 250 mm), pode-se manter um pequeno estoque rotativo de medidores calibrados para reposição daqueles que serão retirados para calibração em laboratório.

No caso de macromedidores velocimétricos, pode-se retirar apenas o kit de medição para ser calibrado em laboratório, deixando-se no lugar outro kit igual previamente calibrado. O kit retirado é instalado em

Foto: ShutterStock

01_guia aesbe.indd 31 24/09/15 16:49

uma carcaça igual, no laboratório, para recalibração. Havendo necessidade, se executa também limpeza e manutenção preventiva no kit, antes da calibração. Pode-se manter um estoque de kits calibrados em laboratório, dos medidores com maior incidência no parque de medidores, para reposição periódica daqueles que estão instalados em campo.

5.3 Ensaio de medidores em campo com registro de volume

Neste tipo de ensaio, o volume registrado pelo macromedidor é comparado com o volume resultante do registro de vazões pelo prazo mínimo recomendado de 24 horas. Neste prazo, havendo externalidades que afetem a medição, como por exemplo, grandes variações de vazão, o efeito poderá ser comparado no registro dos dois medidores, o de referência e o ensaiado.

O procedimento para a realização desta modalidade de ensaio é:

a) Instalação do tubo Pitot; determinação da curva de velocidade e da constante da estação pitométrica; utilizar sensor de diferencial de pressão e registro em data logger. Registrar as vazões em um período de 24 horas, com pelo menos 1 registro por minuto. Alternativamente, pode-se usar medidor ultrassônico portátil calibrado em laboratório, registrando dados por 24 horas, 1 registro por minuto;

b) Registrar em data logger as vazões do macromedidor ensaiado no mesmo período de registro da medição pitométrica (24 horas, 1 registro por minuto);

c) Sincronizar os relógios dos registradores utilizados;

d) Após o período mínimo de 24 horas, sacar os arquivos dos registradores para comparação e análise.

Foto: ShutterStock

5.3.1. 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 os registradores ao longo do tempo, obtendo-se em cada intervalo de 1 minuto o valor do volume. O volume a cada minuto é calculado multiplicando-se o valor da vazão, em l/s ou m^3/s, conforme o caso, pelo tempo, no caso, 60 segundos.

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 em intervalos de 1 segundo, caso se queira.

O somatório dos volumes registrados ao longo das 24 horas deve ser comparado com o volume

01_guia aesbe.indd 32 24/09/15 16:49

registrado pelo macromedidor calculando-se o desvio conforme a fórmula abaixo:

DESVIO % = (VOLUME macro ensaiado - VOLUME macro ref) × 100 / VOLUME macro ref

Critérios de aceitação dos desvios podem ser estabelecidos, conforme a finalidade da medição. Estas finalidades podem ser controle operacional, transferências internas ou transferência de custódia ou faturamento.

A incerteza da determinação do desvio pode ser considerada a mesma do macromedidor de referência.

Neste tipo de ensaio pode-se comparar também o desvio segundo faixas de vazão, pré-estabelecidas. Pode ser que o medidor ensaiado fique superdimensionado quando registrando em baixas vazões e este fato talvez possa ser capturado pelo macromedidor de referência, caso isso seja planejado. Assim, a análise segundo faixas de vazão pode dar informações adicionais importantes.

5.4 Ensaio de aceitação em campo de macromedidores eletrônicos

A experiência mostra que os ensaios com vazão instantânea por curtos períodos podem ser suficientes para a análise de macromedidores eletrônicos. Nestes equipamentos, a curva de erros desloca-se por inteiro, assim, havendo qualquer desvio, o mesmo tende a ocorrer em qualquer vazão.

Havendo necessidade de ajustes, em alguns medidores estes podem ser feitos por meio de constantes configuradas na programação do equipamento.

5.4.1 Ensaio com vazões instantâneas em períodos curtos

A vazão de referência é determinada através de tubo Pitot acoplado a sensor de pressão diferencial e equipamento registrador. Alternativamente, pode ser utilizado medidor ultrassônico portátil calibrado em laboratório.

Do ponto de vista prático, o melhor procedimento é ensaiar o medidor nas vazões rotineiras de sua operação. Pode-se, por exemplo, coletar dados por 30 minutos, com registros coletados a cada 15 segundos, sincronizados os relógios dos registradores do medidor de referência e do medidor ensaiado. Integrar as vazões registradas pelo intervalo de 15 segundos, para se obter uma série de 120 volumes registrados.

Após a coleta dos dados, calcular os desvios.

DESVIO % = (VOLUME macro ensaiado - VOLUME macro ref) × 100 / VOLUME macro ref

5.4.1.1 Análise dos desvios

A análise da conformidade do desvio pode ser feita conforme a vazão utilizada no ensaio:

(i) A vazão ensaiada é superior à vazão de transição do medidor;

(ii) A vazão ensaiada está entre a vazão mínima e a vazão de transição. Estabelecem-se patamares aceitáveis para os desvios, conforme as características da curva de erros do macromedidor ensaiado.

Quando os desvios forem inferiores ao erro admissível para o medidor ensaiado naquela faixa de vazão, somado com a incerteza do macromedidor de referência, então o desvio pode ser considerado admissível. Caso contrário, será necessário ajustar ou substituir o medidor.

A prática demonstra que este método é eficaz para verificações periódicas de funcionamento do macromedidor. Caso seja necessária uma maior precisão e ajustes, pode-se fazer o método de registro de volumes por um tempo mais longo, 24 horas ou mais, dependendo do caso.

01_guia aesbe.indd 33 24/09/15 16:49

Foto: ShutterStock

6. MANUTENÇÃO DE MACROMEDIDORES

As recomendações dos fabricantes relativas a verificações periódicas de manutenção preventiva a efetuar sobre o primário e o secundário dos medidores devem ser rigorosamente seguidas. Caso não existam estas recomendações, deve-se elaborar um plano para sua realização, incluindo os sistemas elétricos associados ao macromedidores, considerando-se ao menos os seguintes pontos:

- Verificação das condições de instalação, com o objetivo de averiguar a existência de alguma alteração das condições originais;
- Verificação do estado das ligações entre o primário e o secundário;
- Verificação da correta parametrização (ou programação) do secundário;
- Verificação operacional do macromedidor, com base na realização de diagnósticos de funcionamento do primário e do secundário, recorrendo a aparelhos simuladores de um e outro desses elementos, que são geralmente produzidos ou comercializados pelo fabricante do macromedidor. Este procedimento não deve ser confundido com calibração, metrologicamente falando.

A periodicidade de cada uma dessas verificações não deve ser superior a seis meses, especialmente quando os valores medidos pelo macromedidor são usados para faturamento. As anomalias observadas durante as verificações periódicas devem merecer as respostas apropriadas dos gestores.

Se for diagnosticada avaria no macromedidor cuja reparação não seja exequível no local e/ou que se preveja demorada, a solução preferível poderá ser a substituição temporária do macromedidor avariado por outro, portátil que seja. Uma vez reparado, o macromedidor deve ser submetido à calibração antes de ser reinstalado.

01_guia aesbe.indd 34 24/09/15 16:49

7. RECOMENDAÇÕES FINAIS

Muitos são os benefícios decorrentes do monitoramento dos Volumes de Entrada nos setores de abastecimento, ao permitir a utilização de modelos de cálculo das perdas e de indicadores de desempenho operacional. O primeiro grande benefício sem dúvida é o entendimento adequado do fenômeno das perdas. Dentre os mais fundamentais, os fenômenos que poderão ser avaliados incluem:

- A constatação de que a diminuição das perdas reais diminui automaticamente os volumes de entrada. Este fenômeno tipicamente ocorre com a redução das pressões médias e com o controle ativo de vazamentos;
- A constatação de que a redução dos desperdícios dos usuários também reduzem os volumes de entrada. Este fenômeno tipicamente ocorre com a racionalização dos consumos decorrente da instalação de hidrômetros em ligações não medidas e também pode ocorrer em parte devido a redução de fraudes e ligações clandestinas;
- A verificação cotidiana das medidas de combate às perdas que funcionam e o quanto funcionam, desta forma permitindo a adequada priorização das medidas de eficientização.

A simples verificação das séries históricas de Volumes de Entrada permite concluir de imediato se o sistema opera normalmente; se ocorrem intermitências e quando; se as perdas são muito altas nos horários de baixo consumo, etc.

Todavia, os benefícios que podem ser alcançados não virão sem esforço. Será necessário que a companhia seja capaz de desenvolver suporte e logística para manutenção de medidores, para a telemetria e registro das medições e; para a calibração e verificações rotineiras em campo.

Para que isto tudo possa ser feito será indispensável que as companhias venham a especializar técnicos nestas funções.

Foto: ShutterStock

01_guia aesbe.indd 35 24/09/15 16:49

REFERÊNCIAS

- ALVES, W.C et al. **DTA D2** – Documento Técnico de Apoio. Macromedição. PNCDA – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Revisão 2004. Brasília, DF. 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS ESTADUAIS DE SANEAMENTO (AESBE). Disponível em: www.aesbe.org.br.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO 3966/2013**. Medição de vazão em condutos fechados – método velocimétrico utilizando tubos de pitot estático. ISO 2008. ABNT 2013. Rio de Janeiro.
- BEZERRA, S. **Macromedição**. Revisão e ampliação do DTA D2 do PNCDA. LENHS UFPB – Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento. João Pessoa, 2009.
- FARLEY, M. e outros. **The Manager's Non-Revenue Water Handbook**: A Guide to Understanding Water Losses. Ranhill Utilities Berhad and the United States Agency for International Development (USAID). 2008.
- FRANGIPANI, M.; GOMES, A. S. **Guias práticos:** técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água, v. 1, Macromedição. PMSS, PNCDA, SNSA, Ministérios das Cidades, Brasília, 2007.
- FRANGIPANI, M.; GOMES, A. S. **Guias práticos:** técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água, v. 2, Ensaios Pitométricos. PMSS, PNCDA, SNSA, Ministérios das Cidades, Brasília, 2007.
- HENRIQUES, J.D. et al. **Medição de caudal em sistemas de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais urbanas**. Série Guias Técnicos. Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR). Lisboa, 2006.
- INMETRO. NIT-DICLA-021. **Expressão da Incerteza da Medição por Laboratórios de Calibração**. Rio de Janeiro, 2013.
- INMETRO. **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia** (VIM). 1995
- IPT MAIO 2001. **Calibração em campo e avaliação de erros de estações de macromedição de água por diferencial de pressão (deprimogêneos)** – Metodologia. 2001.
- ISO. **ISO 7194: SET 1983 Measurement of fluid flow in closed conduits** - velocity-area methods of flow measurement in swirling or asymmetric flow conditions in circular ducts by means of current-meters or Pitot static tubes. 1983.
- ISO. I**SO 3354:1988. Measurement of clean water flow in closed conduits** - Velocity-area method using current meters in full conduits and under regular flow conditions. 1988.
- ISO. ISO 5168: Measurement of fluid flow – Estimation of uncertainty of a flow-rate measurement. 1978
- ISO. ISO 7145: 1982 Determination of flowrate of fluids in closed conduits of circular cross-section – Methodo of velocity measurement at one point of the cross-section. 1982.
- ISO. **ISO GUM 2008 Guia para Expressão da Incerteza de Medição**. Inmetro. 1. ed. brasileira. Rio de Janeiro, 2012.
- LIEMBERGER, R. **WB Easy Calc**. 2012. Disponível em:www.liemberger.cc.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). Disponível em: www.snis.gov.br.

01_guia aesbe.indd 36 24/09/15 16:49

ANOTAÇÕES

01_guia aesbe.indd 37 24/09/15 16:49

01_guia aesbe.indd 38 24/09/15 16:49

01_guia aesbe.indd 39 24/09/15 16:49

01_guia aesbe.indd 40 24/09/15 16:49

01_guia aesbe.indd 41 24/09/15 16:49

01_guia aesbe.indd 42 24/09/15 16:49

01_guia aesbe.indd 43 24/09/15 16:49

01_guia aesbe.indd 44 24/09/15 16:49