

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Isis dos Santos Lima Miranda

**PRESENÇA DE AR NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE
ÁGUA: INFLUÊNCIAS NA MACRO E MICROMEDIÇÃO**

Porto Alegre
julho 2011

ISIS DOS SANTOS LIMA MIRANDA

**PRESENÇA DE AR NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE
ÁGUA: INFLUÊNCIAS NA MACRO E MICROMEDIÇÃO**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Civil

Orientador: Marcelo Giulian Marques
Coorientadora: Fernanda de Carli Tonial

Porto Alegre
julho 2011

ISIS DOS SANTOS LIMA MIRANDA

**PRESENÇA DE AR NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE
ÁGUA: INFLUÊNCIAS NA MACRO E MICROMEDIÇÃO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo/a Professor/a Orientador/a e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, julho de 2011

Prof. Marcelo Giulian Marques
Dr. Em Engenharia Hidráulica pela
Universidade de Laval
Orientador

Fernanda de Carli Tonial
Engenheira em Energia e Desenvolvimento
Sustentável pela UERGS
Coorientadora

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Alexandre Augusto Mees
Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento
Ambiental pela UFRGS

Luis Emerson Teixeira
Engenheiro de Energia e Desenvolvimento
Sustentável pela UERGS

Fernanda de Carli Tonial
Engenheira de Energia e Desenvolvimento
Sustentável pela UERGS

Prof. Marcelo Giulian Marques
Dr. em Engenharia Hidráulica pela
Universidade de Laval

Dedico este trabalho a meus pais, Marcílio e Raquel, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Marcelo Giulian Marques, orientador deste trabalho pela oportunidade e atenção.

Agradeço à Fernanda de Carli Tonial, coorientadora deste trabalho pela disponibilidade e por estar sempre solícita.

Agradeço ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas, por ceder as instalações para a execução desse trabalho.

Agradeço aos meus pais e minha irmã pela paciência, apoio e colaboração.

Eu gosto de catar o mínimo e o escondido.
Onde ninguém mete o nariz, aí entra o meu, com a
curiosidade estreita e aguda que descobre o encoberto.

Machado de Assis

RESUMO

MIRANDA, I. S. L. **Presença de Ar no Sistema de Abastecimento de Água:** influências na macro e micromedição. 2010. 88 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Este trabalho aborda a presença de ar no sistema de abastecimento de água, as suas consequências e qual a sua influência nos equipamentos de medição de vazão comumente utilizados. Sabe-se que a presença de ar nas tubulações ocasiona erros nas medições dos pontos de consumo, mas esses dependem da quantidade de ar no sistema, do tipo de rede e de medição (equipamento, precisão, entre outros). Entretanto são poucos os estudos que indicam qual é a influência do ar que pode estar na rede, o que resulta também na falta de conhecimento a respeito dos erros que essas quantidades acarretam nas medições. Por meio de informações encontradas na literatura especializada buscou-se formar uma base teórica a respeito dos assuntos abrangidos pelo tema através de uma abordagem ampla partindo do Sistema de Abastecimento de Água. Para tanto são apresentados os componentes do sistema com suas devidas definições e participação no conjunto. Em seguida, é feita uma apresentação de alguns dos aparelhos de medição de vazão mais utilizados ao longo da rede de abastecimentos de água (hidrômetro, medidor eletromagnético, turbina intrusiva seção plena, microturbina e medidor Parshall) e demais conceitos a eles relacionados. O problema foi analisado experimentalmente para a verificação da influência do ar na tubulação para diferentes condições de trabalho dos aparelhos de medição. Os dados resultantes desses ensaios foram comparados a fim de verificar a influência do ar em cada um dos medidores utilizados. Por fim, foi possível chegar a conclusões a respeito dos erros acarretados em cada equipamento e as diferenças entre si, relacionadas aos diferentes princípios de funcionamento de cada. Pôde-se, portanto, comprovar a veracidade das afirmações a respeito da extrapolação das medidas na presença de ar. A maioria dos medidores apresentou leituras superiores, com exceção da microturbina que deixou de funcionar e da calha Parshall, que conforme esperado por se tratar de um canal com escoamento à superfície livre, não teve qualquer alteração direta. Através dessa análise se pode ter noção dos prejuízos acarretados aos consumidores e ao órgão responsável pelo sistema.

Palavras-chave: ar na micromedição, hidrômetros, erros de medição, medidores de vazão.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: diagrama de relações das etapas do trabalho	17
Figura 2: sistema de abastecimento de água	20
Figura 3: princípio de funcionamento de um medidor eletromagnético	27
Figura 4: distância a serem consideradas na instalação do medidor eletromagnético	27
Figura 5: cuidados a serem observados na instalação do medidor eletromagnético	28
Figura 6: características dimensionais do medidor Parshall	29
Figura 7: esquema interno de uma turbina seção plena	30
Figura 8: arranjo de uma microturbina	31
Figura 9: posição das informações na carcaça do hidrômetro	32
Figura 10: posição das identificações no mostrador do hidrômetro	33
Figura 11: componentes do hidrômetro	34
Figura 12: hidrômetro monojato, multijato e axial	35
Figura 13: composição do cavalete do hidrômetro	37
Figura 14: kit para instalação de hidrômetro utilizado pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos	38
Figura 15: esquema da posição do hidrômetro na ligação predial	38
Figura 16: sentido correto de instalação	39
Figura 17: exemplo de leitura	39
Figura 18: esquema de um rotâmetro	40
Figura 19: instalações do laboratório	44
Figura 20: vista geral das instalações do LENHS	45
Figura 21: esquema simplificado da bancada de aferição utilizada	46
Figura 22: limites de precisão dos aparelhos	47
Figura 23: hidrômetro velocimétrico	49
Figura 24: medidor de vazão eletromagnético	49
Figura 25: medidor microturbina	49
Figura 26: medidor turbina intrusiva seção plena	50
Figura 27: medidor Parshall de três polegadas	50
Figura 28: arranjo do medidor Parshall utilizado nos experimentos	50
Figura 29: rotâmetro da Conaut	51
Figura 30: correlação entre os níveis no medidor Parshall e vazões	52
Figura 31: conjunto motor-bomba e medidor eletromagnético de referência	56

Figura 32: gráfico do comportamento dos demais aparelhos em relação ao medidor eletromagnético de referência	59
Figura 33: gráfico comparativo do comportamento dos hidrômetros no sentido correto e fluxo e invertidos	60
Figura 34: gráfico comparativo de comportamento da vazão pela proporção de ar inserido	63
Figura 35: gráfico do comportamento das medidas do medidor Parshall para diferentes proporções de ar	64
Figura 36: aspecto na saída da tubulação e entrada na calha Parshall	64
Figura 37: gráfico do comportamento do hidrômetro para diferentes proporções de ar ..	65
Figura 38: gráfico do comportamento do hidrômetro para diferentes proporções de ar sem o erro relativo com o medidor de referência	66
Figura 39: gráfico do comportamento do medidor eletromagnético submetido a diferentes proporções de ar	67
Figura 40: gráfico do comportamento do medidor eletromagnético submetido a diferentes proporções de ar sem erro com relação ao medidor de referência	67
Figura 41: gráfico do comportamento da turbina intrusiva de plena seção submetida às diferentes proporções de ar	68
Figura 42: gráfico do comportamento da turbina intrusiva de plena seção submetida às diferentes proporções de ar sem o erro em relação ao medidor de referência ...	69
Figura 43: gráfico comparativo de comportamento da vazão pela proporção de ar inserido tendo como referencia o medidor de vazão na saída da bomba.....	71
Figura 44: gráfico comparativo de comportamento da vazão pela proporção de ar inserido sem o erro em relação ao medidor de referência	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: dimensões padronizadas do medidor Parshall.....	29
Quadro 2: classes metrológicas	33
Quadro 3: designação dos hidrômetros	34
Quadro 4: informações dos medidores utilizados nos ensaios.....	48
Quadro 5: parâmetros da bomba para as vazões impostas.....	55
Quadro 6: comparativo dos erros encontrados e a precisão dos aparelhos dada pelo fabricante	59
Quadro 7: vazões de ar usadas no ensaio.....	61
Quadro 8: proporções de ar calculadas para cada vazão ensaiada	62
Quadro 9: quantidades de ar aceitáveis para diferentes vazões em função da precisão do aparelho	69

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 MÉTODO DE PESQUISA	14
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	14
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	14
2.2.1 Objetivo Principal	14
2.2.2 Objetivo Secundário	14
2.3 HIPÓTESE	15
2.4 PRESSUPOSTO	15
2.5 DELIMITAÇÕES.....	15
2.6 LIMITAÇÕES.....	15
2.7 DELINEAMENTO.....	16
3 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	19
3.1 MANANCIAL	20
3.2 CAPTAÇÃO	20
3.3 ADUÇÃO	21
3.4 TRATAMENTO	21
3.5 ESTAÇÃO ELEVATÓRIA	21
3.6 RESERVATÓRIOS	22
3.7 REDE DE DISTRIBUIÇÃO	22
3.8 LIGAÇÃO PREDIAL	22
4 SISTEMAS DE MEDIÇÃO	23
4.1 MICROMEDIÇÃO	23
4.2 MACROMEDIÇÃO	25
4.3 TIPOS DE MEDIDORES	25
4.3.1 Medidor Eletromagnético	26
4.3.2 Medidor Parshall	28
4.3.3 Medidor Tipo Turbina Intrusiva	30
4.3.4 Hidrômetro	31
4.3.4.1 Identificações	32
4.3.4.2 Componentes e Tipos	34
4.3.4.2.1 <i>Hidrômetro Velocimétrico</i>	35
4.3.4.2.2 <i>Hidrômetro Volumétrico</i>	36
4.3.4.2.3 <i>Transmissões</i>	36

4.3.4.3 Instalação e Manuseio	37
4.3.5 Medidor de Área Variável	39
5 AR NO SISTEMA	41
6 INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS	44
6.1 BANCADA DE ENSAIOS	44
6.2 EQUIPAMENTOS DA INSTALAÇÃO.....	46
6.3 CALIBRAÇÃO DO MEDIDOR PARSHALL	51
6.4 CONVERSÃO DO ROTÂMETRO	53
7 MÉTODO EXPERIMENTAL	55
8 ANÁLISE DOS ENSAIOS	58
8.1 SEM AR	58
8.2 COM AR	61
8.2.1 Microturbina	63
8.2.2 Calha Parshall	63
8.2.3 Hidrômetro	65
8.2.4 Medidor Eletromagnético	66
8.2.5 Turbina Intrusiva Seção Plena	68
8.2.6 Comparativo entre os Aparelhos	69
9 CONCLUSÕES	72
REFERÊNCIAS	74
APÊNDICE A	77
APÊNDICE B	79
APÊNDICE C	84

1 INTRODUÇÃO

Da sua fonte aos pontos de consumo, sejam eles comerciais ou residenciais, a água percorre um longo caminho. O conjunto que integra todas as unidades e instalações pelas quais a água para uso humano passa denomina-se Sistema de Abastecimento de Água de uma região. Basicamente pode ser dividido em duas partes: produção de água, que engloba a captação e os processos para tornar a água adequada ao uso humano, e sua distribuição. Este trabalho abrangerá a parte de macro e micromedição, ou seja, medições de volumes que passam desde as unidades iniciais do sistema, quanto ao nível de cada ponto de consumo, no limiar da rede coletiva e das instalações hidráulicas privadas. Afim de entender o contexto no qual a macromedição e a micromedição estão inseridos e suas importâncias, fez-se necessário apresentar uma abordagem ampla do sistema, para então prosseguir o trabalho nesse enfoque.

Em termos da micromedição, a medição dos consumos de água de cada ponto de uso possibilita manter uma divisão igualitária dos custos de manutenção e implantação de todo esse sistema, assim como também contribui para o aspecto ambiental, evitando desperdícios pelo consumidor. Em conjunto com uma medição ao longo de todas as unidades do sistema (macromedição) ajuda a identificar perdas na distribuição e fornece informações indispensáveis ao controle e operação de todo sistema de abastecimento. Como em qualquer aparelho de medição, medidores de vazão apresentam faixas de imprecisão (erros de medição) definidas e devem trabalhar em certas condições de contorno especificadas pelo fabricante. O Sistema de Abastecimento de água deve garantir essas condições com o objetivo de ter um controle eficaz ao longo das suas unidades e ser justo na cobrança dos consumidores. Toda a vez que os equipamentos trabalharem fora dessas faixas, haverá erro na medição. Entretanto, todos os sistemas e equipamentos estão sujeitos a falhas ou mau funcionamento.

Há reclamações correntes por parte dos consumidores sobre disparidades significativas nas suas contas mensais, que podem estar ligadas a diferentes fatores (vazamentos, condições de trabalho impróprias para o aparelho, fugas de água ou a presença de ar nas tubulações). O ar pode estar presente associado à água ou em bolsões de ar na rede, que podem ter sido injetados quando da manutenção da rede, ou por algum outro processo involuntário na estação de tratamento ou na estação de bombeamento.

Atualmente, existe uma variedade muito grande de aparelhos de medição de vazão instalados nos Sistemas de Abastecimento até chegar ao consumidor. Alguns podem parar de funcionar quando houver uma certa quantidade de ar na tubulação, enquanto outros medem a passagem de quaisquer fluídos, ou seja, inclusive do ar. No caso da micromedição se chegar aos hidrômetros esse ar será contabilizado e a leitura, em função da alteração da densidade do líquido, não será condizente ao consumo real de água. Essa presença de ar é uma preocupação dos órgãos que administram o Sistema de Abastecimento: como evitá-la e até que ponto é tolerável. Portanto, é imprescindível conhecer os fatores que possibilitam a infiltração excepcional de ar no sistema de abastecimento, seja de modo acidental, inevitável ou devido à ineficiência no gerenciamento operacional do sistema. Além disso, deve-se procurar saber a influência que esse ar causa na rede e nas medições dos diversos aparelhos localizados ao longo do sistema.

Para a melhor compreensão da problemática aqui abordada a estrutura do trabalho está dividida em cinco capítulos que contemplarão diferentes tópicos. O capítulo 2 inicia com a apresentação do método de pesquisa do trabalho. No capítulo 3, será contextualizado o trabalho com a apresentação de informações sobre o sistema de abastecimento de água, abordando cada um de seus componentes, da adução à ligação predial. A seguir, no capítulo 4, é feita distinção entre os sistemas de medição, mostrando suas importância e descrição. A seguir são detalhados os diversos medidores envolvidos. Por fim o último assunto da pesquisa é descrito no capítulo 5, que se refere à entrada de ar no sistema e o que acarreta. A partir desse ponto são abordados os experimentos propriamente ditos, sendo no capítulo 6 apresentada a estrutura utilizada e os equipamentos envolvidos. No capítulo 7 são detalhados os procedimentos dos ensaios e, no capítulo 8, explica-se a necessidade que se teve de realizar ensaios prévios para ver o comportamento dos demais aparelhos entre si e são analisados os dados tratados dos ensaios sem e com ar. Por fim, o último capítulo é referente às conclusões.

2 MÉTODO DE PESQUISA

A seguir estão explicitadas de modo sucinto e direto as diretrizes seguidas no desenvolvimento do trabalho.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: conhecidos os fatores que causam a entrada de ar no Sistema de Abastecimento de Água e sendo ele extrínseco ao sistema, que influências ele acarretará nas medidas de vazão dos aparelhos de medição comumente utilizados?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundários e são apresentados nos próximos itens.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é a análise do comportamento dos diferentes medidores de vazão utilizados nos Sistemas de Abastecimento de Água devido à presença de ar nas tubulações.

2.2.2 Objetivos secundários

O objetivo secundário deste trabalho é a análise das causas de ingresso de ar na rede de distribuição de água.

2.3 HIPÓTESE

A hipótese do trabalho é que para entradas de ar excepcionais na rede (quantidade de ar aquém a considerada intrínseca ao sistema, cuja existência ocorre devido a algum problema), todos os medidores tenderão a apresentar leituras maiores que as em condições normais com comportamentos distintos, por possuírem diferentes princípios de funcionamento; com exceção do medidor tipo calha Parshall, por se tratar de um canal à superfície livre.

2.4 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressupostos que:

- a) sempre há uma quantidade de ar presente no sistema, que pode ser considerada desprezível sob ponto de vista da sua interferência nas leituras de vazão;
- b) os aparelhos de medição envolvidos no experimento foram previamente aferidos e trabalham dentro dos limites de erros toleráveis.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a experimentos de laboratório realizados no Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS) do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

2.6 LIMITAÇÕES

O trabalho tem por limitação:

- a) faixa de vazão dos ensaios compreendida entre 10,8 m³/h (3 L/s) e 18m³/h (5 L/s), coerentes com as faixas de trabalho dos aparelhos indicadas pelos fabricantes;
- b) medidores de vazão utilizados,
 - hidrômetro velocimétrico multijato, com transmissão magnética;
 - medidor eletromagnético;

- medidor Parshall;
- turbina intrusiva seção plena;
- turbina intrusiva não seção plena.

2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas esquematicamente na figura 1, e descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) análise do ingresso de ar;
- c) definição do programa experimental;
- d) experimentos prévios;
- e) prática de laboratório,
 - preparo das instalações;
 - calibração dos parâmetros;
 - coleta de dados;
- f) reunião e tratamento dos dados coletados;
- g) análise dos dados coletados;
- h) conclusões.

A pesquisa bibliográfica visou a arrecadação de material necessário para o embasamento teórico dos temas relacionados ao trabalho, como definição de sistema de abastecimento e todos componentes nele inseridos, tendo como enfoque os aparelhos de medição de vazão. Dentro desse contexto restrito, foram abordados os medidores eletromagnéticos, hidrômetro, turbina não seção plena e seção plena, e medidor tipo calha Parshall; expondo seus princípios de medição e características. Por fim foram descritos os fatores causadores de infiltração de quantidades de ar excepcionais na rede (quantidade de ar além da considerada intrínseca ao sistema e cuja existência ocorre devido a algum problema) e suas possíveis influências no sistema de distribuição.

Na análise do ingresso do ar foram coletadas informações sobre os fatores que possibilitam a entrada de ar na rede de distribuição e de que forma ela se dá. Assim, foi possível saber quais são as alterações decorrentes da sua presença, o que serviu de base para definição de um projeto experimental que as reproduzisse. Uma vez que o trabalho objetiva chegar a

conclusões por meio de experimentos em laboratório, fez-se necessária a definição dos equipamentos, procedimentos e parâmetros com os quais se trabalhou. Essa é a etapa de definição do programa experimental.

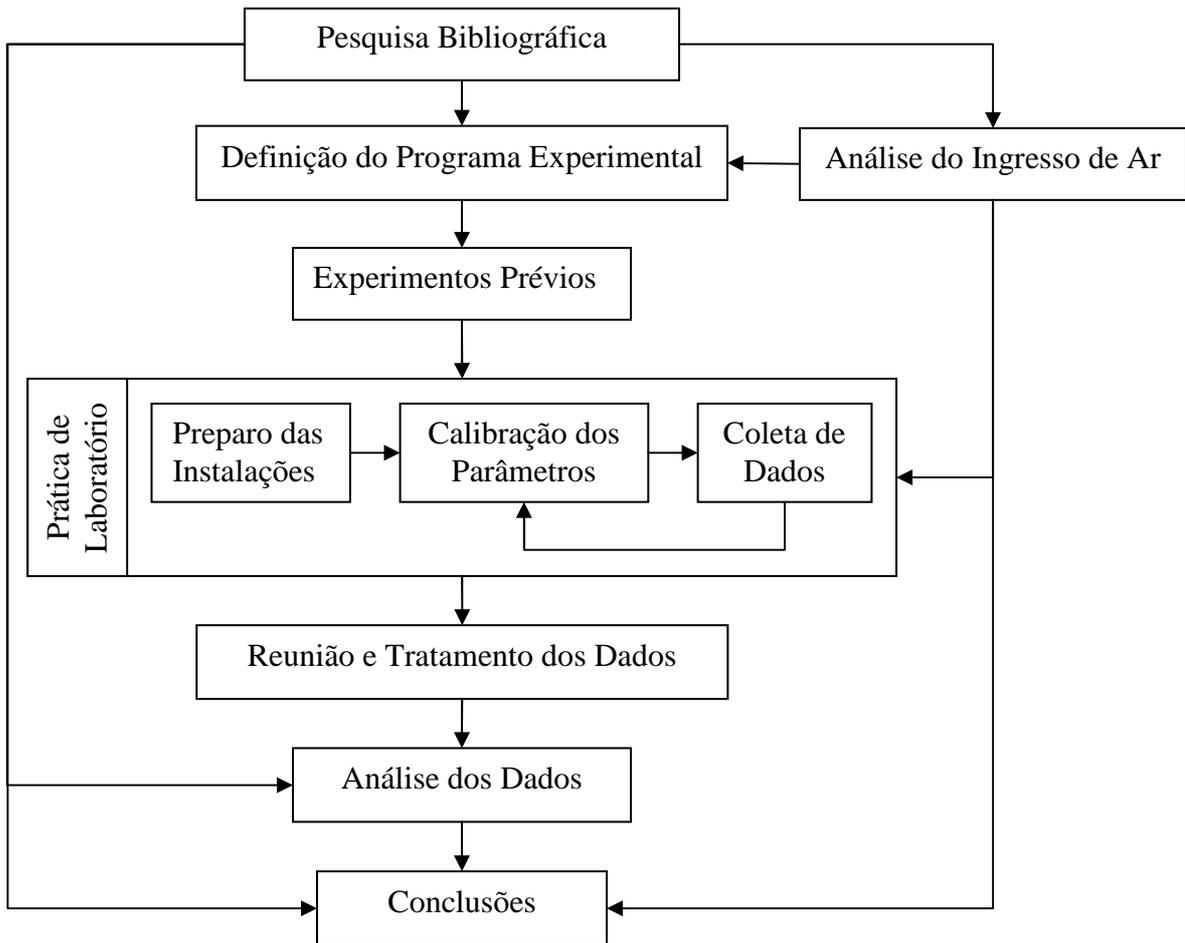


Figura 1: diagrama de relações das etapas do trabalho

Previamente ao experimento relacionado diretamente ao objetivo principal do trabalho, fez-se necessária a realização de experimentos para análise comparativa do comportamento de todos os aparelhos da linha de aferição, afim de dar mais consistência e confiabilidade as conclusões posteriores com o ar. Além de realizar calibração de alguns aparelhos.

A prática de laboratório pode ser subdividida nas diferentes etapas que compõem o experimento. Em primeira instância, procedeu-se a preparação das instalações, com verificação das suas condições, instalação dos medidores, enchimento do reservatório e manobras dos registros. Então, executou-se a prática em si, que consistiu em calibrar os

parâmetros iniciais, como vazões de água e ar, e coletar os dados da leitura dos aparelhos. Essas duas etapas se repetiram em ciclos conforme se aplicam novos valores de entrada.

A reunião dos dados coletados consistiu em selecionar e tratar os resultados obtidos na mudança dos parâmetros de entrada através de gráficos e tabelas para facilitar exame e interpretação. Com a etapa anterior e o embasamento técnico adquirido na pesquisa bibliográfica, pôde-se fazer a análise dos resultados obtidos e, conseqüentemente, as conclusões referentes aos erros ocasionados pelo ar nas medições de todos os equipamentos utilizados.

3 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

A fim de introduzir o assunto principal do trabalho, a influência do ar na medição de vazões, neste capítulo serão apresentadas informações sobre Sistemas de Abastecimento de Água, contexto no qual ela está inserida. A abordagem a seguir mostra a importância do sistema e seus principais componentes, com suas respectivas características e funções.

Coelho (2009, p. 18) apresenta uma definição genérica de sistemas indicando, “Os sistemas, [são] entendidos como um conjunto de elementos que, ordenados dentro de certos padrões, interatuam para obter objetivos e propósitos definidos [...]”. No caso do Sistema de Abastecimento de Água, Gomes (2009, p. 3) afirma que é “[...] o conjunto de equipamentos, obras e serviços voltados para suprimento de água a comunidades, para fins de consumo doméstico, industrial e público.”. Heller e Pádua (2006, p. 72) ainda acrescentam que o sistema é “[...] responsabilidade do poder público, mesmo que administrada em regime de concessão ou permissão.”.

Vinculados ao objetivo de fornecimento de água, Heller e Pádua (2006, p. 73) ainda enfatizam a necessidade de o sistema assegurar:

- a) água canalizada fornecida até sua moradia;
- b) fornecimento ininterrupto da água;
- c) quantidade superior ao mínimo para atendimento de suas necessidades básicas;
- d) qualidade da água de acordo com os padrões de potabilidade.

Para Gomes (2009, p. 3), os “[...] sistemas são compostos, de uma maneira geral, pelas unidades de captação, tratamento, estação elevatória, adução, reservatórios, rede de distribuição e ligações prediais.”. Na figura 2 é mostrado o arranjo dessas unidades no sistema de abastecimento.

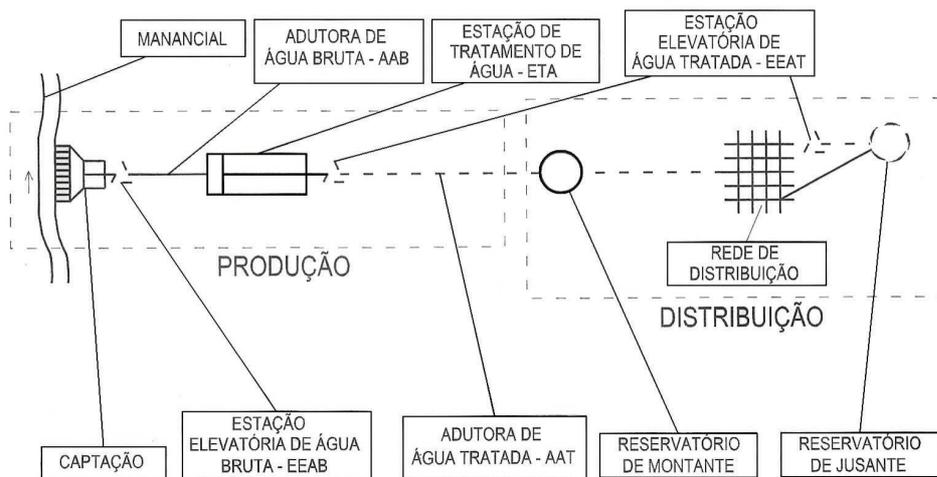


Figura 2: sistema de abastecimento de água (HELLER; PÁDUA, 2006, p. 74)

Essas unidades que constituem o sistema de abastecimento podem ser classificadas em dois grupos, segundo Heller e Pádua (2006, p. 78), os componentes que são destinados à produção de água e os de distribuição. O primeiro grupo engloba desde a captação da água bruta até a adução da água tratada aos primeiros reservatórios, passando por todas as etapas de tratamento. Ao segundo grupo pertencem todas as demais unidades a jusante dos primeiros reservatórios do sistema. Na sequência são mostradas as características e funções de cada uma dessas unidades.

3.1 MANANCIAL

A água encontra-se naturalmente confinada em locais que podem ser superficiais ou subterrâneos, os quais são denominados mananciais. Os mananciais superficiais podem ser separados basicamente em com ou sem acumulação, lagos ou rios, respectivamente; enquanto os aquíferos podem ser confinados ou não-confinados (também denominado freático) e são explorados por poços (HELLER; PÁDUA, 2006; REIS; CHEUNG, 2007).

3.2 CAPTAÇÃO

A captação “[...] consiste na estrutura responsável pela extração de água do manancial [...]. Pode ser de muitas e diferentes formas, em função do tipo de manancial.” (HELLER;

PÁDUA, 2006, p. 74). Essa exploração é mais comumente feita por bombeamento (REIS; CHEUNG, 2007, p. 67).

3.3 ADUÇÃO

É o conjunto de estruturas destinadas a transportar água interligando dois pontos, sem haver consumo ao longo de sua trajetória. Classifica-se, por sua vez, de acordo com a água que transporta em “[...] adutora de **água bruta** ou de **água tratada** e, em função de suas características hidráulicas, pode ser em **conduto livre**, em **conduto forçado por gravidade** ou em **recalque**.” (HELLER; PÁDUA, 2006, p. 75, grifo do autor).

3.4 TRATAMENTO

De acordo com a qualidade da água dos mananciais, ela deve passar por diferentes níveis de tratamento nas Estações de Tratamento de Água (ETA). O tratamento completo é composto pelas seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação, filtração e cloração; cada qual com sua função e tecnologias disponíveis para tal. Ele pode ser simplificado se a qualidade inicial da água permitir, como é o caso, geralmente, de águas subterrâneas. Os padrões finais de potabilidade são estabelecidos pela Portaria n. 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde (HELLER; PÁDUA, 2006; REIS; CHEUNG, 2007).

3.5 ESTAÇÃO ELEVATÓRIA

As Estações Elevatórias são utilizadas no caso de não ser possível vencer o desnível entre montante e jusante por gravidade, ou seja, sua necessidade vai ser função basicamente da configuração do relevo. É formada por um conjunto de bombas e pode recalcar tanto água bruta quanto tratada (HELLER; PÁDUA, 2006, p. 76).

3.6 RESERVATÓRIOS

Heller e Pádua (2006, p. 76) definem como principal função dos reservatórios “[...] realizar a compensação entre vazão de produção [...], que em geral é fixa ou tem poucas variações e as vazões de consumo, variáveis ao longo das horas do dia e ao longo dos dias do ano.”, ou seja, propiciar um fornecimento contínuo absorvendo as flutuações da demanda. Também são responsáveis por armazenar água para combate a incêndios ou outras necessidades emergenciais, condicionar as pressões disponíveis nas redes de distribuição e permitir regularização e continuidade no abastecimento.

3.7 REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Reis e Cheung (2007, p. 68) definem a rede de distribuição como um conjunto de tubulações e equipamentos para controle interligados e que formam ramificações e envoltórias a fim de levar água tratada aos diversos pontos de consumo.

3.8 LIGAÇÃO PREDIAL

É chamada de ligação predial a ramificação da rede de distribuição que liga ao ponto de consumo, formada pelo ramal predial¹, o cavalete com o hidrômetro e o alimentador predial², respectivamente de acordo com o fluxo da água. São classificados em residenciais, comerciais, industriais ou mistas (BRASIL, 2008b, p. 19, 61).

¹ Ramal Predial: é definido como a “[...] canalização compreendida entre a rede pública de água e o final do quadro de água, após o hidrômetro.” (PORTO ALEGRE, 2009, p. [19]).

² Alimentador Predial: é a espera interna do domicílio, definida como a “[...] tubulação compreendida entre o ramal predial e a instalação predial.” (PORTO ALEGRE, 2009, p. [19]).

4 SISTEMAS DE MEDIÇÃO

Sobre os sistemas de medição, Brasil (2004b, p. 8) salienta sua importância quando indica que:

[...] se constituem num instrumento indispensável à operação eficaz de sistemas públicos de abastecimento de água, pois o conhecimento das diversas variáveis envolvidas, proporcionado pela medição, permite explorar as melhores formas de operação do sistema de abastecimento em todas suas partes: captação, adução de água bruta, tratamento, adução de água tratada, reservação e distribuição.

Nos Sistemas de Distribuição de Água existem basicamente dois tipos de medição, ambos abrangidos por esse trabalho:

- a) micromedição;
- b) macromedição.

Serão, então, introduzidas suas definições e suas importâncias nos mais diversos aspectos.

4.1 MICROMEDIÇÃO

Brasil (2004b, p. 14) apresenta a seguinte definição:

Entende-se por micromedição a medição do consumo realizada no ponto de abastecimento de um determinado usuário, independente de sua categoria de consumo. Basicamente a micromedição compreende a medição permanente do volume de água consumido e que é registrado periodicamente por meio da indicação propiciada pelos hidrômetros.

De modo mais direto e claro, Coelho (2009, p. III) indica que “A micromedição é como uma ‘balança’ que pesa o produto distribuído para os usuários e para a sociedade.”.

Ao analisar um sistema cuja aplicação de controle e cobrança do uso da água tiver sido recém implantado, sabe-se que a consequência imediata é a redução do consumo *per capita*, advinda, principalmente, do fim do uso desnecessário da água para fins frívolos (RECH, 1992, p. 20). A redução dos desperdícios com uso racional da água favorece o equilíbrio da

rede de distribuição, contribuindo para um fornecimento igualitário a todos consumidores (COELHO, 1983; MENDONÇA, 1975). Em resumo, “O emprego de medidores disciplina o consumo, diminui o desperdício e normaliza a demanda de água.”, além de propiciar o diagnóstico de perda na distribuição em conjunto com a macromedição (MENDONÇA, 1975, p. 3). A conclusão de Rech (1992, p. 20) resume essas idéias, quando ele afirma que “Ficava, assim, nitidamente comprovada a ação fiscalizadora e economizadora do hidrômetro.”.

Em termos econômicos, a micromedição é a única ferramenta que possibilita repassar de modo justo os custos de implantação e operação do sistema para a comunidade, com rateio proporcional aos consumos individuais de cada usuário (MENDONÇA, 1975, p. V, 3). Não se pode esquecer que a medição deve ser aplicada a todos os pontos de consumo, quaisquer que sejam seus gastos, tanto para fazer justiça na divisão entre grandes e pequenos consumidores, quanto para não favorecer a negligência dos pequenos, cuja conta mensal de água muitas vezes é baseada em estimativas baixas (GOULART, 1995, p. 5). Coelho (2009, p. III) acrescenta que “Neste sentido, é vital que funcione bem, como ‘caixa registradora’ dos operadores, permitindo o equilíbrio econômico e financeiro dos prestadores e a formulação de políticas tarifárias socialmente justas.”. A ampliação e manutenção do parque de hidrômetros também são interessantes para aumentar a arrecadação e reduzir os volumes não medidos de água, que reflete na redução das tarifas (COELHO, 1983; 2009). Muita importância deve ser dada a política tarifária, que deve ser adequada para garantir a auto-suficiência e aceitabilidade do sistema e desestímulo ao gasto abusivo (MENDONÇA, 1975; BRASIL, 2004b). Rech (1995, p. 37) define que, “Tarifa real é aquela capaz de remunerar os insumos necessários à manutenção, operação e ampliação do sistema, sem penalizar ou favorecer o contribuinte. E tarifa justa é aquela cobrada de acordo com o consumo individual medido.”.

Analisando outro aspecto da relevância da micromedição, Coelho (2009, p. III) reforça e acrescenta:

Mas não se resume a isso o papel da micromedição: ela é fundamental para viabilizar o controle operacional dos sistemas controlando a demanda de água. Para o controle, a ausência ou deficiência da micromedição compromete a identificação das parcelas de perdas reais e de perdas aparentes de água nos sistemas de abastecimento, [...]

A indução da regularização da demanda e racionamento por meio da hidrometria soluciona problemas cuja solução alternativa poderia necessitar novas obras de adução, implicando em custos mais elevados (MENDONÇA, 1975, p. 2). Além de conceder dados úteis para otimizar

a operação do sistema, também demonstra a tendência dos consumidores, informação importante para projetos de ampliação (BRASIL, 2004b, p. 15).

4.2 MACROMEDIÇÃO

Brasil (2004b, p. 8) define macromedição como “[...] conjunto de medições realizadas no sistema público de abastecimento de água, desde a captação de água bruta até as extremidades de jusante da rede de distribuição.”.

Como dito no item anterior, uma função indispensável da macromedição é possibilitar, conjuntamente com a micromedição, a quantificação de perdas na rede, como vazamentos e ligações clandestinas, pela diferença entre eles. O controle de vazões de entrada ou saídas das diversas unidades constituintes do Sistema de Abastecimento de Água também compõe a macromedição, por essa razão geralmente são equipamentos de maior porte (BRASIL, 2004b, p. 8).

De modo resumido, Brasil (2004a, p. 12) estabelece como seu objetivo “[...] oferecer o ferramental necessário à medição e avaliação dos parâmetros hidráulicos (volume, pressão, vazão, etc.) visando aumentar a eficiência no uso da água em sistemas públicos de abastecimento.”. Os dados obtidos nessas medições também conferem informações úteis à operação das unidades produtivas, como para dosagem de agentes químicos no tratamento de água ou liberação de água para rede de distribuição (BRASIL, 2004a, p. 13-14). A relevância ambiental e financeira da micromedição também é atribuída à macromedição, uma vez que a maioria das informações é obtida com os quantitativos de ambos conjuntamente.

4.3 TIPOS DE MEDIDORES

Entre os principais tipos de medidores se pode citar os (DELMÈE, 1995, p. 7-12):

- a) eletromagnéticos;
- b) canais abertos;
- c) turbinas;

- d) área variável;
- e) deprimogênios;
- f) vertedores;
- g) volumétricos;
- h) ultrassônicos.

Eles se diferem, basicamente, pelo princípio de medição. Para esse trabalho são utilizados medidores de todos esses tipos, com exceção dos deprimogênios e dos vertedores. O funcionamento de cada um será explicado conforme são apresentados os aparelhos envolvidos nos experimentos nos próximos itens, assim como suas composições e demais informações relevantes.

4.3.1 Medidor Eletromagnético

Sabe-se que um fluido ao atravessar um campo magnético, gerado por bobinas, dá origem a tensões normais a esse campo, atuando como um condutor móvel. Tais tensões são proporcionais à velocidade de passagem do fluido, essa relação em conjunto com a distância entre os eletrodos possibilita a conversão para medidas de vazão (BRASIL, 2008a, p. 37). Tal relação é descrita pela Lei de Faraday (DELMÉE, 1995, p. 392):

$$e = BlV \quad \text{(fórmula 1)}$$

Onde:

e = força eletromotriz, em volts;

B = densidade do fluxo do campo magnético, em Weber/m²;

l = distância entre os eletrodos, geralmente próxima ao diâmetro da tubulação, em metros;

V = velocidade do fluido, em m/s.

Desse modo é possível fazer uma calibração correlacionando a força eletromotriz medida e a velocidade do fluido, conseqüentemente, a vazão, uma vez que os demais parâmetros são constantes do medidor. Na figura 3, pode-se ver um arranjo do funcionamento desse medidor.

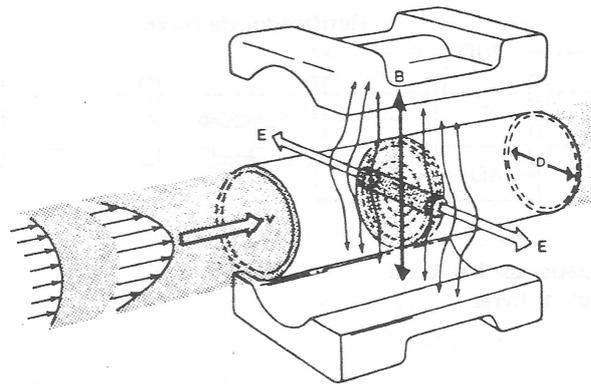


Figura 3: princípio de funcionamento de um medidor eletromagnético (DELMÉE, 1995, p. 390)

Brasil (2008a, p. 37) ressalta que o medidor “[...] é muito sensível à presença de ar dissolvido na água [...]”, informação relevante para esse trabalho.

Os fabricantes aconselham sua instalação de modo a evitar a passagem de bolhas de ar ou para que elas não entrem em contato com os eletrodos (NIVETEC INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE, 2011, p. 2). As figuras 4 e 5 demonstram outros critérios e cuidados a serem seguidos para posicionamento do aparelho na instalação.

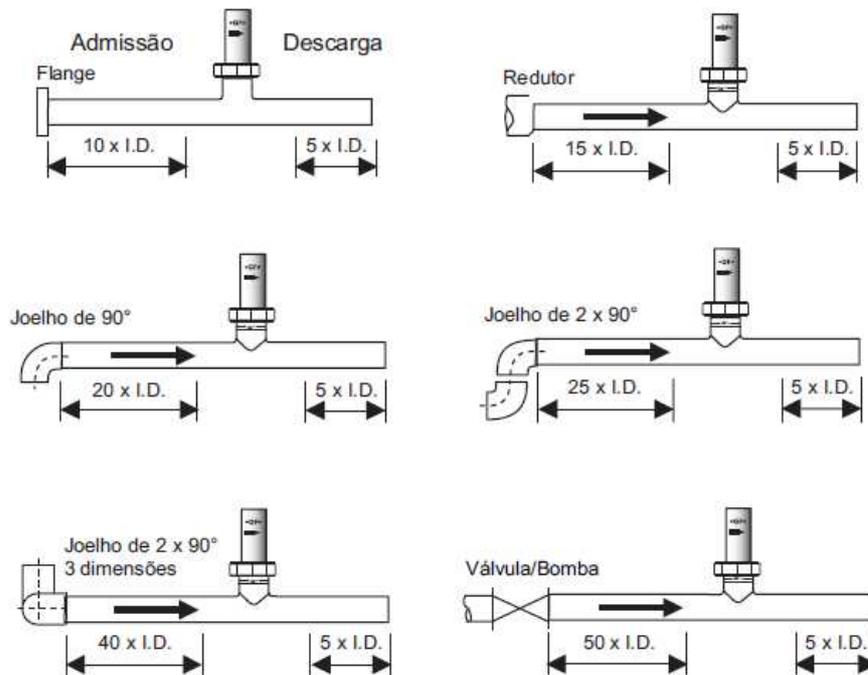


Figura 4: distância a serem consideradas na instalação do medidor eletromagnético (NIVETEC INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE, 2011, p. 2)

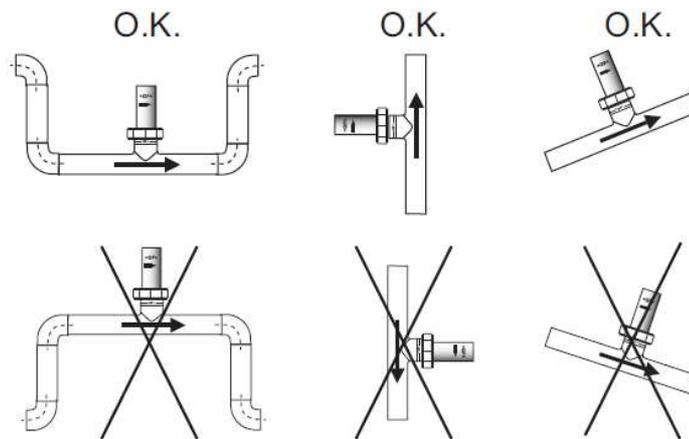


Figura 5: cuidados a serem observados na instalação do medidor eletromagnético (NIVETEC INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE, 2011, p. 2)

4.3.2 Medidor Parshall

Brasil (2008a, p. 45) define esse equipamento como sendo um instrumento para medições de vazão em superfície livre “[...] 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.”. É também conhecido como medidor de regime crítico, pois através do seu arranjo força uma situação de energia crítica na garganta, cuja altura pode ser facilmente correlacionada à vazão (NETTO; ALVAREZ, 1973, p. 489). A conversão das medidas de nível d’água (até mesmo de outras posições na calha) em vazão pode ser feita de diversos modos simplificados, por equações fornecidas pelo fabricante ou calibração direto em laboratório. É importante salientar que por se tratar de um escoamento a superfície livre, esse equipamento não está sujeito à presença de ar, qualquer bolsão de ar presente nas tubulações é eliminado ao entrar no medidor Parshall.

As dimensões da calha são padronizadas, conforme quadro 1, representadas na figura 6.

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

Quadro 1 dimensões padronizadas do medidor Parshall (BRASIL, 2008a, p. 47)

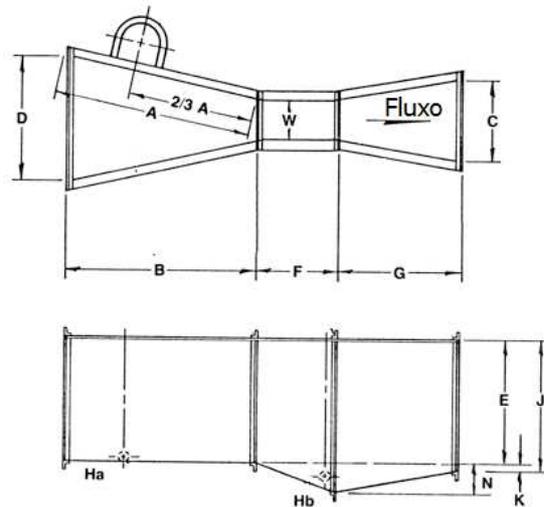


Figura 6: características dimensionais do medidor Parshall (adaptado de BRASIL, 2008a, p. 46)

4.3.3 Medidor Tipo Turbina Intrusiva

O medidor tipo turbina intrusiva se caracteriza por estar inserido dentro do fluxo na tubulação. Os medidores desse tipo relevantes para esse trabalho são de dois tipos:

- a) seção plena;
- b) não seção plena ou microturbina.

Ambos “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.” (BRASIL, 2008a, p. 20). Esse princípio é o mesmo dos hidrômetros do tipo velocimétrico.

Diferem-se, basicamente, pela área da seção da tubulação preenchida pela turbina, ou seja, uma turbina preenche toda seção da tubulação, figura 7, enquanto a outra é uma turbina de pequenas dimensões inserida na tubulação, geralmente posicionada na parte superior da seção, figura 8.

Desse modo, a microturbina, também conhecida como turbina de inserção, “[...] 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.”, essa constante dependerá do ponto da tubulação onde a turbina está posicionada (em função do perfil de velocidade na tubulação) (BRASIL, 2008a, p. 28).

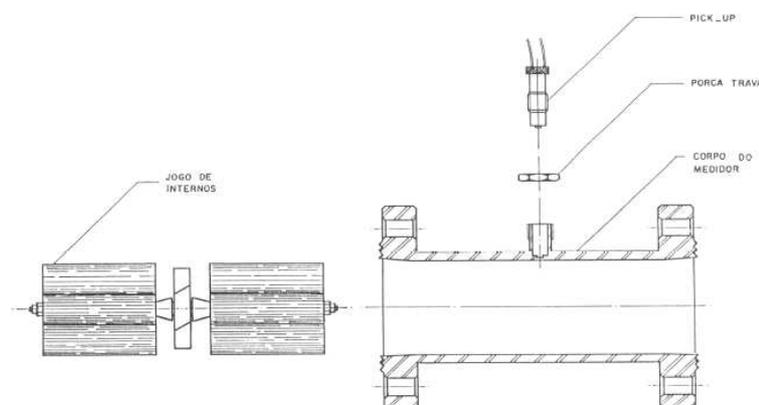


Figura 7: esquema interno de uma turbina seção plena (INCONTROL INDÚSTRIA METALÚRGICA, 2011, p. 9)

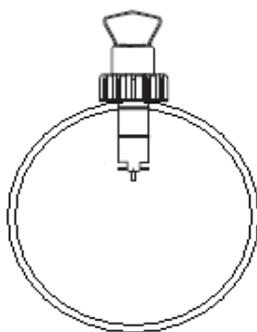


Figura 8: arranjo de uma microturbina
(baseado em GEORG FISCHER SISTEMAS DE TUBULAÇÕES, 2011, p. 3)

4.3.4 Hidrômetro

Quando se trata de micromedição o medidor utilizado será o hidrômetro, possui ampla variedade de tipos tornando vasta sua aplicabilidade. O hidrômetro é definido como “[...] instrumento destinado a medir e indicar continuamente o volume de água que o atravessa.” (BRASIL, 2000, p. 2). A escolha do melhor hidrômetro a ser usado em cada ponto de consumo é função das características da rede (pressões, vazões, etc.) em cada um desses pontos. O aparelho que submetido a tais condições trabalharia o maior período de tempo dentro da faixa dos erros tolerados deverá ser o selecionado (COELHO, 2009, p. 112). Assim, para detalhar o assunto, será apresentado como identificar o hidrômetro, procedimento de leitura e instalação, conceitos básicos, funcionamento e tipos existentes.

Alguns conceitos se fazem necessários para o entendimento do assunto (BRASIL, 2000; RECH, 1992):

- a) vazão mínima (Q_{\min}): após o início do movimento, é a menor vazão a partir da qual o hidrômetro trabalha dentro dos parâmetros de erro admissíveis, sendo assim, para vazões inferiores, funciona fora dos limites aceitáveis;
- b) vazão de transição (Q_t): vazão que separa a faixa inferior e superior de medição. Corresponde a 5% da vazão máxima;
- c) vazão máxima (Q_{\max}): maior vazão em que o hidrômetro ainda funciona, em curto período, dentro dos seus erros máximos admissíveis e, ao voltar às suas condições normais de uso, continua com mesmo desempenho metrológico;
- d) vazão nominal (Q_n): maior vazão nas condições de utilização consideradas normais, nas quais o hidrômetro não sofreria desgastes nem alterações de

desempenho, trabalhando no limite de erros admissíveis. Corresponde a 50% da vazão máxima;

- e) faixa inferior de medição: faixa de vazão entre a vazão mínima e a vazão de transição;
- f) faixa superior de medição: faixa de vazão entre a vazão de transição e a vazão máxima;
- g) início de movimento: vazão a partir da qual o hidrômetro começa a dar indicações de volume, sem submissão aos erros máximos admissíveis.

A seguir, serão introduzidas as características dos hidrômetros, seus tipos e aspectos funcionais.

4.3.4.1 Identificações

Devem constar na carcaça do hidrômetro as seguintes informações (BRASIL, 2008b, p. 35-36), apresentadas nas figuras 9 e 10:

- a) marca ou símbolo do fabricante;
- b) número indicativo da vazão máxima, em ambos os lados da carcaça;
- c) sentido do fluxo em ambos os lados da carcaça;
- d) sentido de sua regulação (quando houver);
- e) código de modelo do fabricante;
- f) vazão nominal e identificação da posição de instalação, acompanhada da respectiva classe metrológica;
- g) unidade de medida do volume em m^3 , inscrita no mostrador;
- h) marca da aprovação do modelo e indicação da classe metrológica no mostrador.

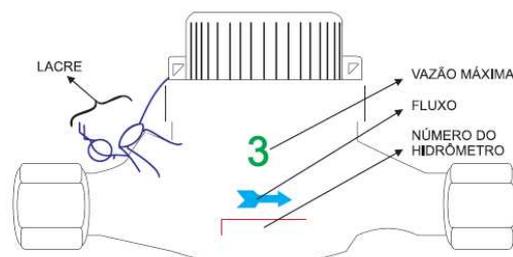


Figura 9: posição das informações na carcaça do hidrômetro (BRASIL, 2008b, p. 37)

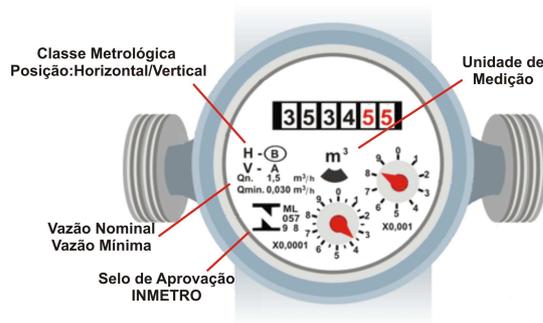


Figura10: posição das identificações no mostrador do hidrômetro (adaptado de SARANDI, 2010)

O número do hidrômetro deve conter dez caracteres, obedecendo à seguinte regra (BRASIL, 2008b, p. 37-38):

- a) primeiro caractere: uma letra correspondente a designação do hidrômetro;
- b) segundo e terceiro caracteres: dois algarismos que correspondem ao ano de fabricação;
- c) quarto caractere: uma letra exclusiva, correspondente a cada fabricante;
- d) seis caracteres finais: número sequencial do fabricante, tendo início em 000001 para cada vazão nominal e para cada ano de fabricação.

As classes metrológicas e designação do hidrômetro dependem da vazão nominal, conforme os quadros 2 e 3.

Classe	Vazão (L/h)	Vazão Nominal (m ³ /h)								
		0,6	0,75	1	1,5	2,5	3,5	5	10	15
A	minima	24	30	40	40	100	140	200	400	600
	transição	60	75	100	150	250	350	500	1000	1500
B	minima	12	15	20	30	50	70	100	200	300
	transição	48	60	80	120	200	280	400	800	1200
C	minima	6	7,5	10	15	25	35	50	100	150
	transição	9	11	15	22,5	37,5	52,5	75	150	225

Quadro 2: classes metrológicas (BRASIL, 2008b, p. 41)

Caractere	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F
Vazão Nominal (m ³ /h)	0,6	0,75	1	1,5	2,5	3,5	5	10	15

Quadro 3: designação dos hidrômetros (RECH, 1992, p. 39)

4.3.4.2 Componentes e Tipos

O hidrômetro é constituído de quatro partes básicas (BRASIL, 2008b; COELHO, 1983; MENDONÇA, 1975; RECH, 1992), ilustradas na figura 11:

- relojoaria: totaliza os consumos transmitidos pelas engrenagens, pode ser selada ou molhada e variar conforme o material e tecnologia do dispositivo;
- transmissão: conjunto de engrenagens que transfere o movimento do medidor à relojoaria, pode ser do tipo mecânica ou magnética;
- carcaça: compõe o corpo do hidrômetro agrupando as demais partes;
- elemento de medição: componente cujo movimento contínuo pode ser convertido em volume. De acordo com seu tipo os hidrômetros podem ser velocimétricos, volumétricos ou mistos.

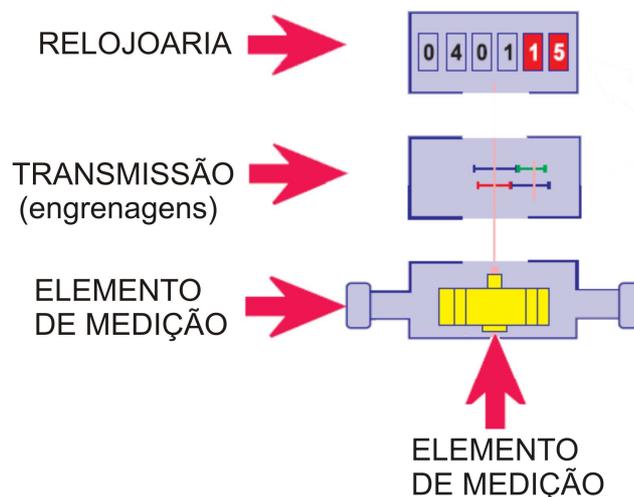


Figura 11: componentes do hidrômetro (adaptado de BRASIL, 2008b, p. 48)

Quanto ao tipo de mecanismo de medição, os hidrômetros podem ser velocimétricos, volumétricos ou mistos (os dois tipos anteriores presentes em um único hidrômetro). Enquanto que seu componente de transmissão pode ser mecânico e magnético.

4.3.4.2.1 Hidrômetro Velocimétrico

São também conhecidos como taquimétricos ou inferenciais (COELHO, 1983, 2009; RECH, 1992). A contabilização do consumo é feita de modo indireto através da “[...] proporcionalidade existente entre a velocidade da água que atravessa o medidor e o número de revoluções da turbina [...]” (COELHO, 1983, p. 3). O acionamento da turbina é propiciado pela ação da velocidade do fluxo sobre ela (RECH, 1992, p. 23), ou seja tem o mesmo princípio das turbinas intrusivas mencionadas anteriormente. Podem ser subdivididos da seguinte forma, de acordo com a direção do fluxo de água em relação ao eixo do medidor (COELHO, 1983, p. 3):

- a) fluxo tangencial: podem ser com um único jato incidindo sobre a turbina (mono-jato) ou múltiplos jatos atuando uniformemente (multi-jato), conforme figura 12 (a);
- b) fluxo axial: podem ser também denominados como Woltmann ou hélice, conforme figura 12 (b).

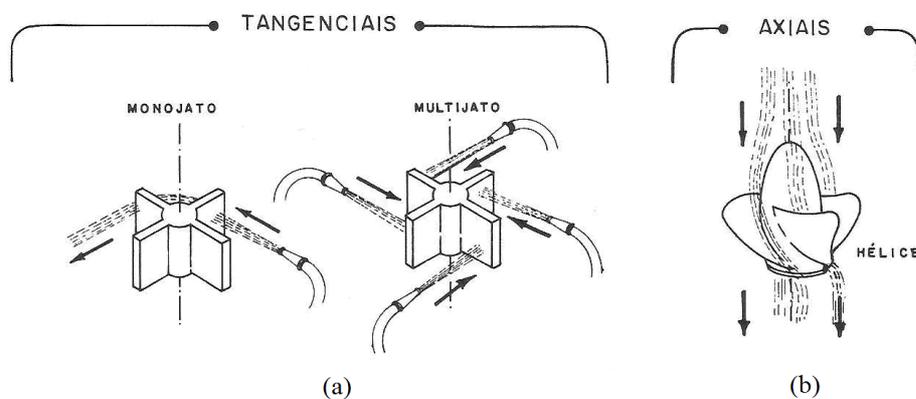


Figura 12: hidrômetro mono-jato, multi-jato e axial (COELHO, 1983, p. 5)

Sua principal vantagem é o custo de aquisição, que sempre compensa se for analisado para cada consumo o custo/benefício na escolha do medidor (COELHO, 2009, p. 112). Entre os de fluxo tangencial, os mono-jatos são mais sensíveis, o que pode ser visto como ponto favorável ou desvantagem, uma vez que isso os torna mais vulneráveis a golpes de aríetes e variações de pressão. Já os multi-jatos são mais resistentes pela sua composição robusta e sofrem menos desgaste de uso, já que o fluxo de entrada de água é distribuído uniformemente nas palhetas (BRASIL, 2008b, p. 43-44).

4.3.4.2.2 *Hidrômetro Volumétrico*

Os hidrômetros volumétricos “[...] caracterizam-se pela obtenção do consumo a partir da contagem do número de vezes que se enche e esvazia uma câmara de volume conhecido [...] sucessivamente, sendo cada ciclo registrado por um dispositivo contador.” (COELHO, 2009, p. 84). O movimento do dispositivo medidor é forçado devido à diferença de pressão da entrada e da saída do hidrômetro (RECH, 1992, p. 24).

Possuem uma série de vantagens, como vida útil superior, mantendo-se por maior período trabalhando na faixa de erros admissíveis, apresentam baixa perda de pressão e podem ser instalados em qualquer posição. Além de terem vazões reduzidas de início de movimento e manterem uma boa exatidão em refluxo com relação ao fluxo normal, o que acarreta redução das parcelas de água que não são medidas e evita “[...] a cobrança indevida do ar quando os clientes estiverem em pontos altos da rede de distribuição de água ou quando os aparelhos estiverem instalados em sistemas de abastecimento de água com intermitência.”. Essas qualidades, em certas situações, podem compensar facilmente o fato desses hidrômetros serem mais caros e sensíveis a impurezas na água: problema esse que já pode ser contornado com dispositivos de proteção e anti-paralisação (COELHO, 2009, p. 78-84, 118).

4.3.4.2.3 *Transmissões*

O tipo de mecanismo de transmissão também confere características próprias ao funcionamento dos hidrômetros, que, de acordo com as condições de uso, podem ser tornar significativamente prejudiciais ou irrelevantes. A transmissão pode ser mecânica ou magnética.

A transmissão mecânica, por ser composta por um conjunto de engrenagens em permanente contato com a água, é suscetível a paralisações devido a impurezas, que eventualmente passem pelo filtro, e a oxidação. A ligação com a relojoaria é feita por um eixo que atravessa a placa separadora, o que pode comprometer a sua estanqueidade. No caso da transmissão magnética, não há qualquer elemento atravessando a placa, porém pode haver problemas de desacoplamento dos elementos magnéticos, quando o medidor é acionado de forma brusca ou apresentar baixa sensibilidade se o acoplamento magnético for intensificado (RECH, 1992, p. 35-36).

4.3.4.3 Instalação e Manuseio

Segue o procedimento para instalação ou substituição de um hidrômetro (trabalho não publicado)³:

- a) fechar o registro do cavalete para estancar o fluxo, item 1 da figura 13;
- b) soltar as roscas de ambos os lados do hidrômetro (ou do tubo provisório, também chamado de *by-pass*, no caso de nova instalação) com uma chave inglesa e removê-lo, item 2 da figura 13;
- c) posicionar o novo hidrômetro, item 3 da figura 13, não esquecendo as arruelas de vedação de plástico ou PVC e a direção correta de fluxo (indicada pela seta da parte lateral ou identificável pela presença do filtro do lado da entrada de água), e parafusar novamente, se necessário utilizar uma redução para o diâmetro do aparelho, item 4 da figura 13;
- d) colocação dos lacres nas extremidades do hidrômetro (sobre porca) - exigido pelos órgãos para não haver fraudes;
- e) fazer a leitura do hidrômetro antes da utilização;
- f) liberação do fluxo.

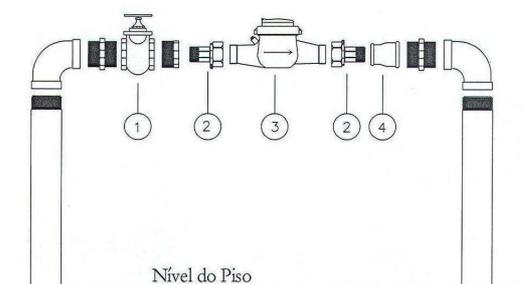


Figura 13: composição do cavalete do hidrômetro (adaptado de trabalho não publicado)⁴

Na figura 14, há um exemplo de cavalete utilizado pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos de Porto Alegre. Em seguida, na figura 15, pode ser visto o posicionamento da instalação do cavalete do hidrômetro em relação à rede pública de distribuição e a via pública.

³ Informações obtidas do Relatório de Estágio Supervisionado feito por Isis dos Santos Lima Miranda, do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, semestre 2010/1.

⁴ Figura adaptada do Edital 03.080147.09.7, Serviços de Instalação e/ou Substituição de Hidrômetros, Conserto de Cavaletes, Substituição de Registros e de Cavaletes em Ramais Prediais de Água do Município de Porto Alegre, do Departamento Municipal de Água e Esgotos.



Figura 14: kit para instalação de hidrômetro utilizado pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos.

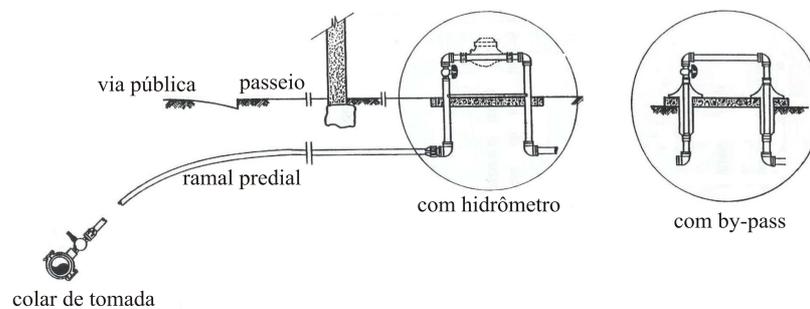


Figura 15: esquema da posição do hidrômetro na ligação predial (adaptado de trabalho não publicado)⁵

Alguns cuidados devem ser tomados na instalação, manejo e uso do medidor, como (COELHO, 2009; MENDONÇA, 1975):

- a) havendo troca de tubulação, deve-se fazer uma descarga de limpeza com o uso de um *by-pass* (tubo de mesmo comprimento do hidrômetro);
- b) local para instalação deve ser de preferência um ponto baixo do ramal predial e o alimentador deve sair de modo ascendente ou no mínimo, horizontal, para o hidrômetro sempre estar repleto de água;
- c) vazões de trabalho inferior a máxima;
- d) evitar que ele esteja submetido a golpes de aríetes;
- e) atentar ao sentido e posição corretos de instalações do aparelho, figura 16;
- f) alinhamento do medidor com tubulação de chegada e saída;
- g) o hidrômetro deve ser instalado em um nicho de proteção.

⁵ Figura obtida da apostila do Curso de Instalador Hidráulico Predial, realizado pela Escola de Educação Profissional SENAI Visconde de Mauá, Porto Alegre, 1996.

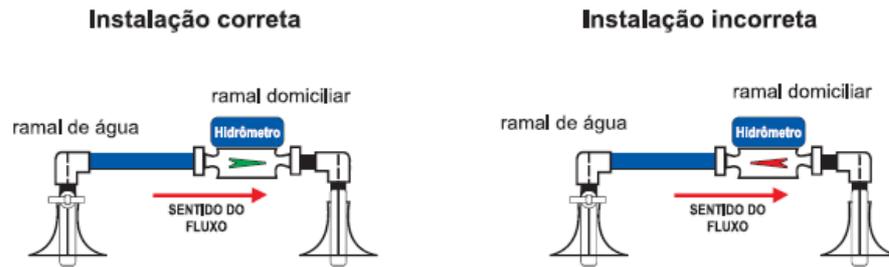


Figura 16: sentido correto de instalação (BRASIL, 2008b, p. 112)

Para leitura utilizando esse medidor são usados tanto os roletes de leitura direta, quanto os ponteiros. Os números pretos nos roletes indicam a parcela inteira do volume acumulado, os vermelhos são os dois primeiros decimais, e os números indicados nos ponteiros, como indicado no mostrador da figura 17, são o terceiro e quarto decimais, completando a precisão do volume em m^3 (BELO HORIZONTE, 2010; BRASIL, 2008b; MENDONÇA, 1975).

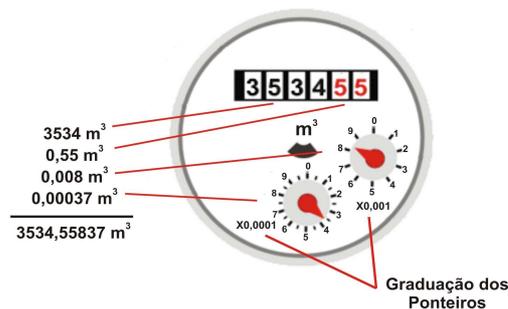


Figura 17: exemplo de leitura (adaptado de SARANDI, 2010)

4.3.5 Medidor de Área Variável

Esse medidor, conhecido como rotâmetro, é definido como um medidor de área variável, pois sua seção interna tende a aumentar no mesmo sentido da sua escala, e é constituído de um cone transparente e um flutuador, de material e peso conhecidos. Seu princípio de funcionamento se baseia no equilíbrio entre o peso do flutuador no interior do cone de medição e o empuxo exercido pela vazão do fluido na seção. Já que o peso do flutuador é constante, a variação do fluxo que passa é compensada pela variação da área, ou seja, em cada posição a pressão diferencial é aproximadamente constante, possibilitando uma escala de graduação uniforme (figura 18). É importante salientar que sua escala deve ser calibrada para

o fluido que se pretende usar, não tendo correlação direta de escala no caso de usar outro fluido mesmo em iguais condições de temperatura e pressão, uma vez que sua viscosidade e densidade seriam diferentes. Nesses casos um coeficiente de correlação pode ser calculado para transformação da escala (DELMÉE, 1995, p. 365-367).

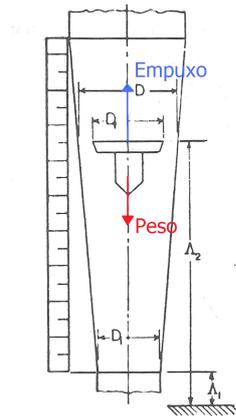


Figura 18: esquema de um rotâmetro (adaptado de DELMEÉ, 1995, p. 371)

5 AR NO SISTEMA

Na prática, a ocorrência de ar em tubulações pode acontecer, por exemplo, na rede de distribuição de uma cidade ou tubulações de adução entre unidades, cuja presença pode ser atribuída a diversas causas ligadas a operação, manutenção e constituição da malha do sistema.

O ar está sempre presente na água de maneira diluída, porém essa quantidade presente é mínima e insignificante em termos dos erros de medição (MELLO; FARIAS, 2001, p. 1). A Associação das Empresas de Saneamento Básico Estaduais (2010) explica do seguinte modo:

Em sistemas pressurizados de distribuição de água que estejam operando normalmente, o volume de água preenche toda a tubulação, ou seja, não há espaço para existência de ar. Entretanto, é importante mencionar que, mesmo nessa situação, a água apresenta em sua composição pequenas quantidades de moléculas gasosas que lhe garante leveza. Mas a quantidade de ar diluído na água [...] não interfere em seu volume ou medição.

Entretanto, esse ar diluído pode vir a se acumular nas partes altas da rede, formando bolsões de ar. Esses pontos potenciais de acúmulo já são considerados no planejamento da rede, nos quais é prevista a instalação de ventosas, que permitem a entrada ou saída de ar (ASSOCIAÇÃO DAS EMPRESAS DE SANEAMENTO BÁSICO ESTADUAIS, 2010; CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM, 2010).

Outro aspecto que pode aumentar a presença de ar na tubulação está ligado ao funcionamento das bombas de recalque do sistema que estiverem operando abaixo do seu NPSH⁶ requerido⁷, succionando mais ar ou permitindo a formação de vórtices junto a tomada de água que podem levar ar para o interior da tubulação (MELLO; FARIAS, 2001, p. 3). O ingresso ou saída de ar da rede de abastecimento, além do mencionado anteriormente, se deve a diferença entre a pressão interna das tubulações e a pressão atmosférica. O ar irá fluir do ponto de maior pressão para o de menor pressão. É correto dizer que a entrada de ar está condicionada aos

⁶ Baptista et alli (2003, p. 184) explicam que “O termo NPSH, proveniente da nomenclatura inglesa, correspondente às iniciais de Net Positive Suction Head.”

⁷ Em Baptista et alli (2003, p. 184) o NPSH requerido é definido “[...] fisicamente como sendo a carga energética que a bomba necessita para succionar o líquido sem cavitare [...]”.

casos em que a pressão da rede é inferior à atmosférica, houver um **espaço vazio** na rede e existir um ponto de ligação com meio externo (CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM, 2010).

As ventosas, se bem posicionadas, vão fornecer caminhos preferenciais de entrada e saída do ar. Entretanto, esse comportamento pode mudar devido ao seu mau funcionamento por falta de manutenção, posicionamento ou quantidade inadequados, e falta de replanejamento quando há alterações ou ampliações na rede (MELLO; FARIAS, 2001, p. 1). Nesses casos o ar tende a ter como caminho alternativo as danificações nas tubulações e, em último caso, ele poderá vir a ingressar ou ser expulso por meio dos pontos de consumo domiciliares, tais como torneiras abertas ou caixas d'água vazias (CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM, 2010; MELLO; FARIAS, 2001).

Pode-se citar como principal causa da ocorrência de situações nas quais a rede de abastecimento não se encontra repleta de água a intermitência no fornecimento, que pode ser devido a deficiências na operação do sistema, prática de rodízios ou rompimento na rede. Nessas condições, “[...] para **sair água** (consumo) destinada a um determinado usuário, é necessário **entrar** uma quantidade equivalente de ar (teoria da ocupação de espaço) [...]”, e, na volta do abastecimento normal, “[...] para recarregar a rede de água, é necessário **sair** uma quantidade equivalente de ar [...]” (trabalho não publicado, grifo do autor)⁸, atentando ao fato de que o ar é compressível.

Nesses casos, “[...] a passagem de ar, nas operações de esvaziamento da rede, faz o medidor retroceder na medição. O medidor volta a avançar quando o ar passa no sentido contrário, quando a rede se enche.” (trabalho não publicado)⁹. Desse modo, hipoteticamente “Esse fluxo e refluxo de água/ar tende a equilibrar os volumes que passam pelo hidrômetro.” (ASSOCIAÇÃO DAS EMPRESAS DE SANEAMENTO BÁSICO ESTADUAIS, 2010), porém as leituras em fluxo e refluxo vão depender das velocidades do fluido nessas duas condições.

É importante atentar para a capacidade do hidrômetro instalado em trabalhar, de modo equivalente, no fluxo e refluxo (exposto anteriormente para cada tipo de hidrômetro), e que apenas os pontos altos da rede estão sujeitos ao fluxo de ar em ambos os sentidos

⁸ Informações retiradas de um conjunto de relatórios técnicos fornecidos por João Ricardo Leturiondo Pureza, Engenheiro dos Serviços de Água e Esgoto de Novo Hamburgo.

⁹ idem

(CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM, 2010). Ou seja, os demais pontos estão sujeitos a alterações do consumo, pois não contam com essa compensação de volumes medidos e retrocedidos pela diferença das quantidades de ar expulso e admitido (trabalho não publicado)¹⁰.

No caso de hidrômetros velocimétricos, os erros ainda podem ser aumentados pela diferença de velocidade com que houver a entrada e a saída da água/ar (trabalho não publicado)¹¹. Então “[...] pode-se concluir que os efeitos do ar na medição são proporcionais às velocidades de enchimento e esvaziamento de um sistema de distribuição.” (MELLO; FARIAS, 2001, p. 11).

¹⁰ Informações retiradas de um conjunto de relatórios técnicos fornecidos por João Ricardo Leturiondo Pureza, Engenheiro dos Serviços de Água e Esgoto de Novo Hamburgo.

¹¹ idem

6 INSTALAÇÃO E EQUIPAMENTOS

Neste capítulo serão apresentados a estrutura laboratorial e aparelhos utilizados para os experimentos. Em seguida, serão demonstrados os primeiros experimentos feitos, para calibração da calha Parshall, e considerações sobre o rotâmetro.

6.1 BANCADA DE ENSAIOS

A aquisição de dados foi feita com a utilização da bancada de ensaios do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS) do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Todos os ensaios foram realizados entre fevereiro e abril de 2011. Na figura 19, pode-se ver o arranjo das suas instalações.

A instalação é composta de um reservatório inferior, três conjuntos motor-bomba e tubulações de ferro fundido de diâmetro nominal 80 mm, ao longo da qual há diversos registros, manuais ou eletro-pneumáticos, e aparelhos de medição de vazão e pressão.



Figura 19: instalações do laboratório
(UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 2011)

Para realização do que se propõe nesse trabalho, foi usada apenas parte da instalação do laboratório (bancada de aferição), correspondente a porção em destaque na figura 20. Essa figura corresponde a uma visão geral das instalações que são utilizadas para controle remoto dos equipamentos por meio do software supervisor¹². A bancada de ensaios é apresentada em detalhe na figura 21, onde se pode ver a sequência dos equipamentos de medição utilizados.

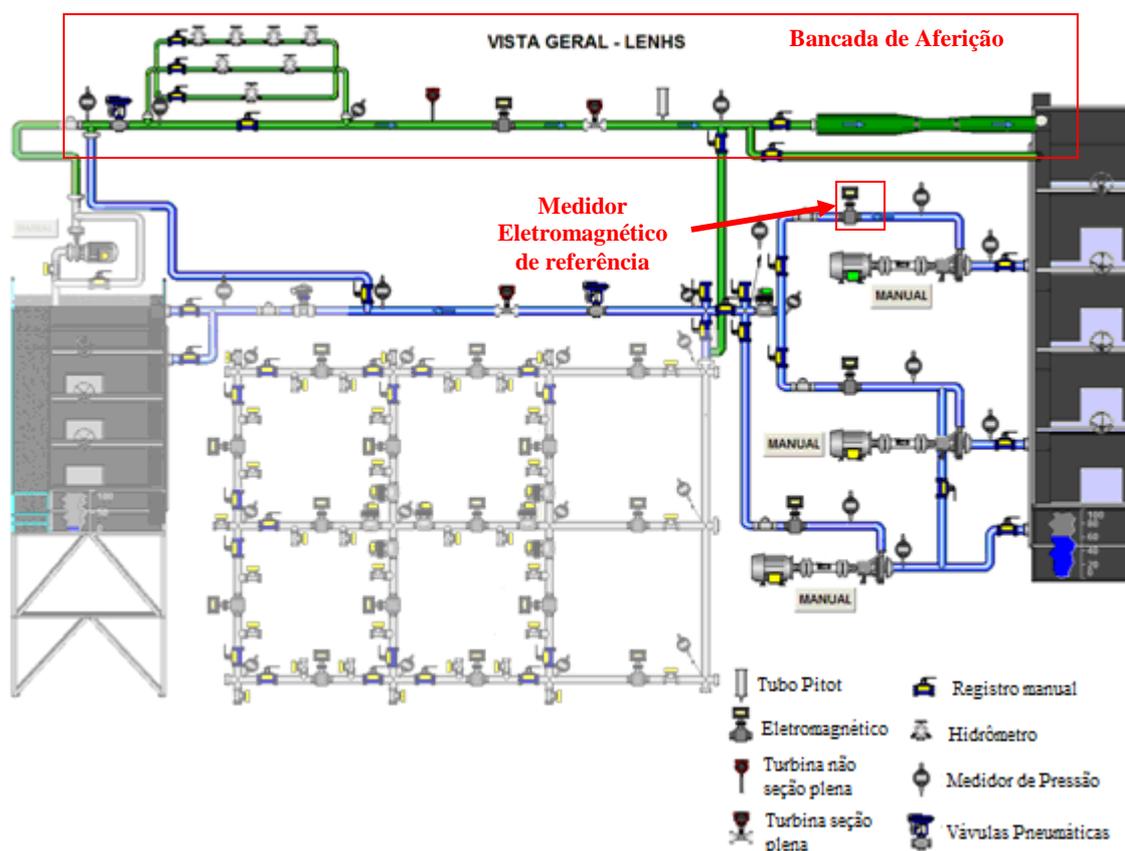


Figura 20: vista geral das instalações do LENHS

A bancada de aferição permite a comparação direta entre os equipamentos de medição de vazão e a sua comparação com um medidor de vazão eletromagnético utilizado como referência, em destaque na figura 20. Há possibilidade de utilizar a bancada de aferição com variação dos percursos, correspondem as linhas indicadas na figura 21, que são:

¹² O software supervisor permite a visualização de forma remota das leituras da maioria dos aparelhos (que podem ser gravadas), assim como é usado para modificar as condições e caminhos de operação no sistema. Além de outras funcionalidades não utilizadas para os ensaios desse trabalho.

- a) linha 1: passagem direta para os demais medidores, sem passar pelos hidrômetros, apresenta apenas um registro manual;
- b) linha 2: fluxo passa pelo hidrômetro que faz gravações remotas, instalado na posição correta;
- c) linha 3: fluxo passa por dois hidrômetros instalados invertidos, ou seja, corresponde ao aparelhos trabalhando em sentido contrário de fluxo. Serão referidos no trabalho como hidrômetro 2 e 3, conforme numeração da figura 21;
- d) linha 4: passagem por quatro hidrômetros em série instalados na posição correta.

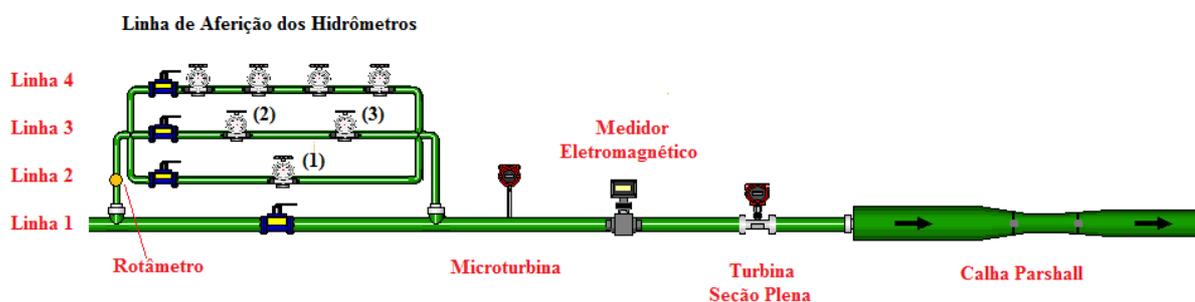


Figura 21: esquema simplificado da bancada de aferição utilizada

Para os ensaios, utilizou-se a linha 2 e 3. Na figura 21 é indicada a posição do rotâmetro, medidor utilizado para medir as vazões de ar introduzidas na tubulação.

6.2 EQUIPAMENTOS DA INSTALAÇÃO

No quadro 4, são apresentados os equipamentos de medição existentes na bancada de ensaios, suas características, marcas, faixas de vazão e precisões de medida. A figura 22 mostra em conjunto para todos os equipamentos as faixas dentro das quais se pode atribuir o erro de medida devido à imprecisão do equipamento (X na figura é o erro do aparelho em porcentagem). Esses dados serão importantes para avaliar se as alterações decorrentes da presença de ar podem ou não ser desprezadas, em função de os valores medidos estarem ou não dentro desses limites.

Para todos os aparelhos, com exceção da turbina intrusiva seção plena e do rotâmetro, os limites inferiores e superiores de exatidão não variam no gráfico da figura 22, pois são baseados nas vazões instantâneas passando pelos medidores. Por sua vez, para a turbina seção

plena é função apenas do fundo de escala do aparelho, então a variação de leitura tem um valor fixo, no caso 11,5 L/min, que terá proporções diferentes dependendo da vazão que estiver atravessando, em proporção inversa a mesma. O mesmo vale para o rotâmetro cujo erro é fixado pelo fundo de escala e vale 0,6 NI/min, para esse valor o erro percentual varia conforme a vazão de ar injetada na tubulação, como mostra a figura para os diferentes valores da graduação do aparelho usada. Então, o erro de precisão do equipamento decresce com o aumento da vazão de ar inserida.

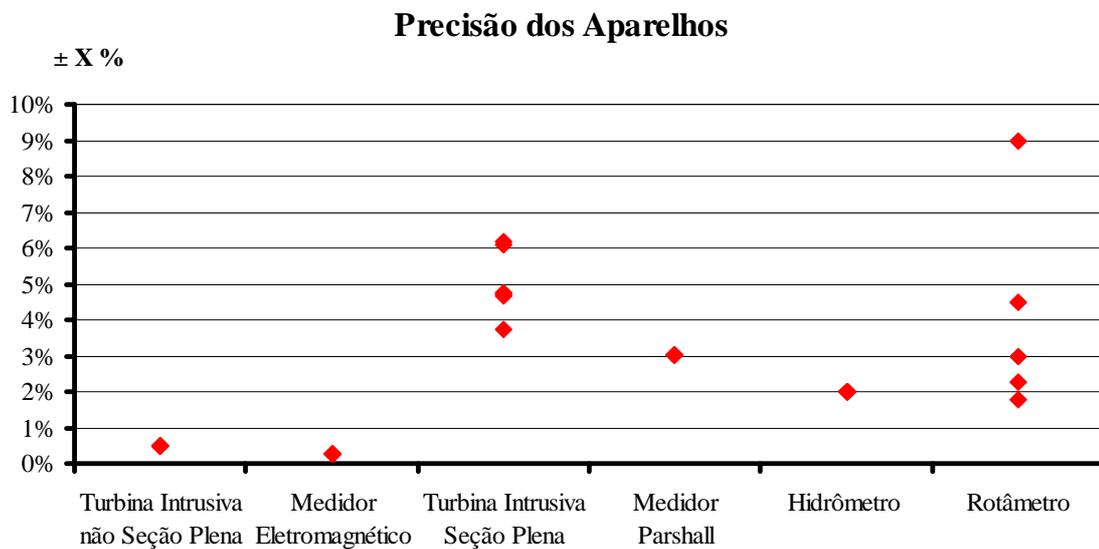


Figura 22: limites de precisão dos aparelhos

Medidor	Marca/Modelo	Faixa de medição	Precisão	Observação	Leitura	Figura
Hidrômetro ¹	LAO / $Q_n = 10 \text{ m}^3/\text{h}$	0,2 a $20 \text{ m}^3/\text{h}$	$\pm 2\%$ da vazão, para $Q > Q_t$	Calibração do fabricante	Remota e Visual	23
Eletromagnético ²	Siemens / Sensor MAG 5100W, com transmissor MAG 6000	4,32 a $172 \text{ m}^3/\text{h}$	$\pm 0,25\%$ da vazão a 25°C , para $v > 0,5\text{m/s}$	Calibração do fabricante	Remota	24
Microturbina ³	Georg Fischer / Signet 8550	6,83 a $103,8 \text{ m}^3/\text{h}$	$\pm 0,5\%$ da vazão, a 25°C	Calibração do fabricante	Remota	25
Turbina Intrusiva Seção Plena ⁴	Incontrol / VTL075 de 3 polegadas	9 a $147 \text{ m}^3/\text{h}$	$\pm 0,5\%$ F.E.	Calibração do fabricante	Remota	26
Calha Parshall ⁵	Inccer / 3 polegadas	2,88 a $193,68 \text{ m}^3/\text{h}$	$\pm 3\%$ da vazão	Calibração no laboratório	Visual	27-28
				$Q=0,2484h^{2,6065}$		
Rotâmetro ⁶	Conaut, Modelo 440 com flutuador de PVC	$0,2 \text{ Nm}^3/\text{h}$ a $2 \text{ Nm}^3/\text{h}$	$\pm 2\%$ F.E.	Calibração do fabricante	Visual	29

¹ (LAO INDÚSTRIA, 2011, p. 2), ² (SIEMENS, 2011, p. 16; 19), ³ (GEORG FISCHER SISTEMAS DE TUBULAÇÕES, 2011, p. 1),

⁴ (INCONTROL, 2011, p. 3; 12), ⁵ (INCCER INDÚSTRIA METALÚRGICA, 2011, p. 1-2), ⁶ (CONAUT, 2011, p. 1)

Quadro 4: informações dos medidores utilizados nos experimentos



Figura 23: hidrômetro velocimétrico



Figura 24: medidor de vazão eletromagnético



Figura 25: medidor microturbina



Figura 26: medidor turbina intrusiva seção plena



Figura 27: medidor Parshall de três polegadas

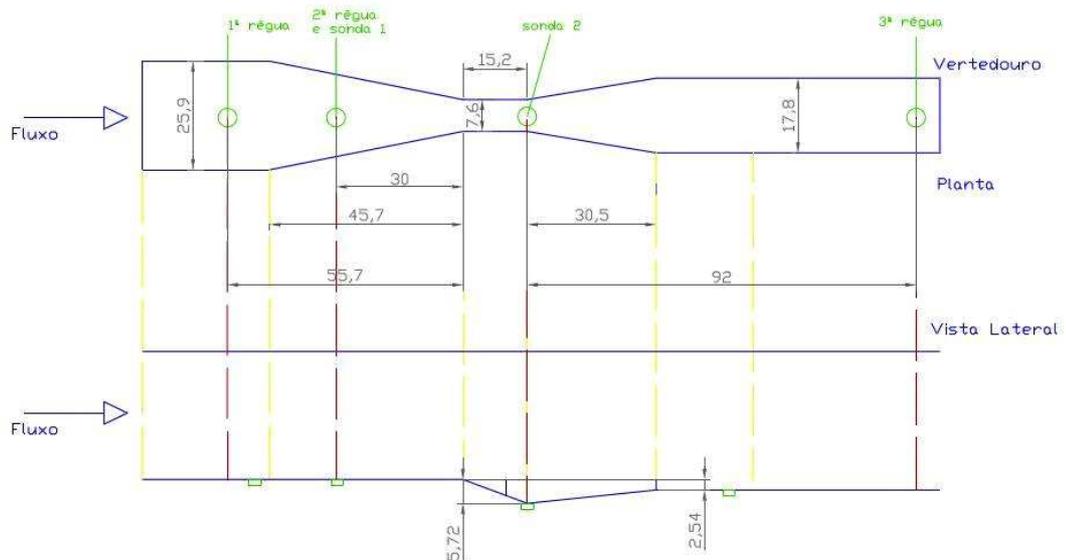


Figura 28: arranjo do medidor Parshall utilizado nos experimentos



Figura 29: rotâmetro da Conaut

6.3 CALIBRAÇÃO DO MEDIDOR PARSHALL

Em função das características dos ensaios efetuados, a calha Parshall teve que ser utilizada em uma condição submersa, por sua vez não se pôde utilizar as equações fornecidas pelo fabricante, o que exigiu uma calibração *in loco* da mesma. Nessa sessão será mostrado como foi calibrado o medidor Parshall. A calibração foi efetuada através da comparação com o medidor eletromagnético na saída da bomba visando amenizar as incertezas de futuras comparações (figura 30), uma vez que o medidor eletromagnético na saída da bomba foi adotado como medidor de referência para os estudos com ar e sem ar.

Como mostra a figura 28, na calha há possibilidade de leituras de nível em quatro pontos, nas posições indicadas pela primeira régua, segunda régua (que também tem leitura por sonda ultrassônica pré-calibrada), sonda dois e terceira régua. Em todos os experimentos foram coletados os níveis fornecidos pelas três régua e pelas duas sondas, porém devido à necessidade de calibração foram usadas apenas as leituras de nível a montante da garganta.

Além de utilizar as leituras diretas da régua, também foram coletados os dados da sonda na mesma posição. Esse é um medidor de nível ultrassônico, previamente calibrado com nível de referência no fundo da calha naquele ponto. Sua precisão de leitura é da ordem de $\pm 0,25\%$ do fundo de escala.

Para calibração foram utilizados os níveis referentes à segunda régua, ou seja, aquela a montante da garganta da calha, nas três condições de vazão, que foram usadas em todos os experimentos.

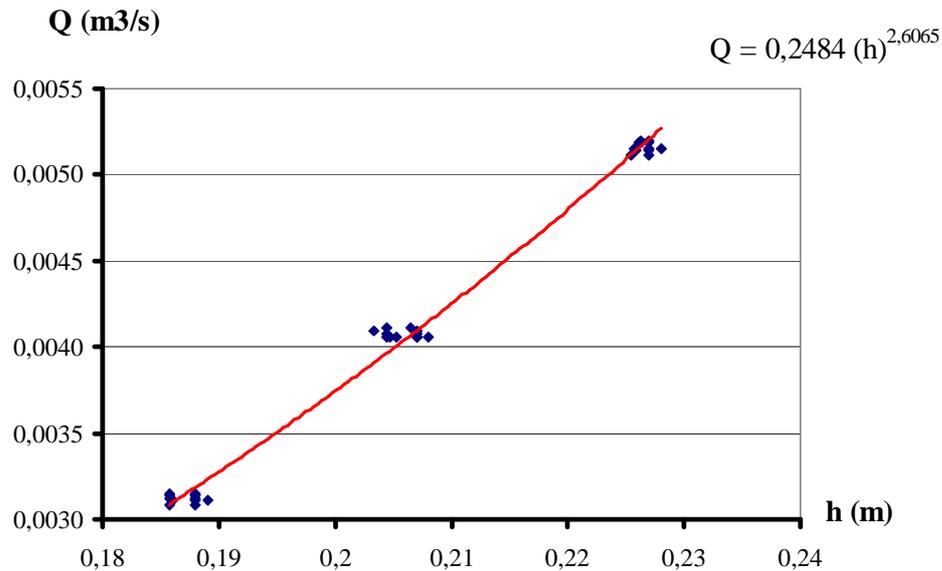


Figura 30: correlação entre os níveis no medidor Parshall e vazões

Equações de calibração de medidores Parshall são genericamente representadas pela fórmula 2 (BRASIL, 2004a, p. 49):

$$Q = Kh^n \quad (\text{fórmula 2})$$

Onde:

Q = vazão na calha Parshall, geralmente expressa em m³/s;

K = constante de correlação que depende do tipo do obstáculo interposto no escoamento;

h = altura da linha d'água medida a montante do estrangulamento, conforme figura 28, em metros;

n = expoente constante depende do obstáculo interposto no escoamento.

Através de uma linha de tendência, encontraram-se os seguintes valores correspondentes aos coeficientes da fórmula 2, para as mesmas unidades:

$$Q = 0,2484h^{2,6065} \quad (\text{fórmula 3})$$

Os valores plotados no gráfico da figura 30 utilizados para encontrar a equação que melhor representasse o comportamento do medidor Parshall estão no Apêndice A, assim como os erros que sua aplicação gera em relação aos valores obtidos pelo medidor de referência.

Os erros de medida ligados a esse aparelho estão vinculados à equação de calibração utilizada. Cabe salientar que a leitura da régua, que é feita visualmente, pode vir a acrescentar imprecisões ao valor da medida de vazão. Além disto, a saída do ar pode provocar pequenas oscilações no nível de água. Nos ensaios efetuados, essa flutuação do nível da régua foi da ordem de 1 mm para os experimentos sem ar, o que foi considerada insignificante em termos de vazão. Já para os ensaios com o ar, devido à turbulência gerada, que não era totalmente amortecida na entrada da calha, as variações de nível d'água podiam chegar a 5 mm, podendo-se considerar esse efeito significativo, indicando que a calha deveria estar mais afastada da saída do conduto .

6.4 CONVERSÃO DO ROTÂMETRO

O rotâmetro utilizado foi o Modelo 440, da *Conaut*, com flutuador de PVC, diâmetro nominal de ¼ polegada, cujos limites de aplicação são a escala de 200 a 2000 NI/h e pressão mínima de ar 5 mbar (CONAUT, 2011, p. 1; 3).

A unidade da escala do rotâmetro é dada em normal metros cúbicos por hora (Nm³/h), ou seja, volume por tempo em condições pré-estabelecidas de temperatura e pressão. Então, fez-se necessária a conversão de unidades para as condições do experimento. O modelo utilizado já era calibrado para ser usado com gases cuja condição de referência, dada no manual, era pressão atmosférica de 1,013 bar (correspondente a 1 atm) e temperatura 20° C (CONAUT, 2011, p. 3).

As vazões de ar em metros cúbicos por hora utilizadas foram encontradas com a utilização da Lei dos Gases Ideais simplificada (DELMÉE, 1995, p. 86), com as condições ideais e as medidas na ocasião do ensaio:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (\text{fórmula 4})$$

Onde:

P_1, P_2 = pressões;

V_1, V_2 = volumes;

T_1, T_2 = temperaturas, em Kelvin.

7 MÉTODO EXPERIMENTAL

Para dar maior confiabilidade e consistência à análise do experimento fim desse trabalho (influências pelo ingresso de ar na rede), foram feitos inicialmente ensaios para ver o comportamento de todos os aparelhos de medição presentes na linha aferição com relação ao medidor de referência. Por fim, procedeu-se com os ensaios com ar na rede, para verificar de que forma cada um desses equipamentos iria responder a presença de água e ar no interior das tubulações.

Foi escolhido como medidor de referência o eletromagnético logo após a saída da bomba, devido a alguns dos aparelhos não estarem previamente calibrados e, principalmente, ao seu posicionamento na instalação, pois não seria afetado pela inserção de ar na tubulação (conforme visto nas figuras 20 e 21).

Baseado na faixa de trabalho do hidrômetro (faixa superior de medição) disponível no laboratório, vazão mínima 3,33 L/min e vazão máxima 333,33 L/min foram escolhidas como vazões de trabalho de aproximadamente 180, 240 e 300 L/min, de modo que também estivessem dentro da faixa de trabalho dos demais aparelhos utilizados. Essas vazões foram ajustadas através da alteração das rotações da bomba, conforme quadro 5. As rotações foram ajustadas através do inversor de frequência e fixadas tomando por base os valores de vazões dados no medidor de referência para escolha das rotações. Segundo os manuais dos demais medidores, essas vazões também estão dentro de suas faixas de medição, então se parte do pressuposto que todos os aparelhos estão em condições de trabalho aceitáveis para seu bom desempenho e exatidão de medidas. O conjunto motor-bomba presente no laboratório é mostrado na figura 31.

Rotação da Bomba	Frequência	Vazão
61%	1086 rpm	≈ 180 l/min
79%	1402 rpm	≈ 240 l/min
100%	1767 rpm	≈ 300 l/min

Quadro 5: parâmetros da bomba para as vazões impostas



Figura 31: conjunto motor-bomba e medidor eletromagnético de referência

Foram efetuadas duas baterias de ensaios, uma sem e outra com ar. Para a análise comparativa dos aparelhos antes da inserção de ar, adotou-se como procedimento a repetição de três ciclos de medição, para cada vazão selecionada, de modo intercalado. Uma vez para cada, da menor para maior, e novamente regredindo as vazões. A última medida de cada vazão foi realizada após desligar e reiniciar o sistema, de modo a comprovar que as condições sob as quais foram feitas as primeiras duas coletas de dados poderiam ser repetidas. Essa sequência de ensaios foi feita tanto para a linha que passava pelo hidrômetro em posição de instalação correta (linha 2) quanto para a que os hidrômetros estão instalados invertidos (linha 3).

Nos ensaios com ar, efetuou-se o mesmo tipo de procedimento dos ensaios sem ar pela linha 2, com a única diferença que foi se verificando a quantidade de ar introduzida na tubulação pelo rotâmetro e foi feito um controle da temperatura ambiente para conversão das vazões. Por uma limitação de tempo, foi feito um ciclo de medições para cada vazão estabelecida anteriormente para cada vazão de ar escolhida, explorando toda escala de graduação possível do rotâmetro. A instalação desse equipamento é dotada de um *by-pass*, que deve ser aberto totalmente antes de utilizar o rotâmetro para evitar que o fluido da tubulação ingresse em seu interior comprometendo seu funcionamento adequado. Também foi instalado um filtro para controlar a pressão do ar vinda do compressor antes de passar pelo rotâmetro, conferindo, assim, maior estabilidade nas medidas do rotâmetro.

Para cada repetição os dados eram gravados pelo programa supervisor, apenas sendo feitas leituras diretas para o medidor Parshall e os hidrômetros.

Cada vez que as condições eram modificadas, um tempo mínimo de um minuto foi aguardado antes de os dados serem gravados para que os valores marcados nos aparelhos atingissem uma situação estável. Para as análises posteriores, foram usados os dados referentes sempre a dois minutos de medição. Para análise dos dados foram utilizadas as medidas gravadas sempre de um intervalo de dois minutos, onde para o hidrômetro foi feita uma leitura inicial e outra final após esses dois minutos, calculando a vazão pela diferença entre as leituras; já para os aparelhos com leitura remota os dados foram posteriormente selecionados a partir do meio da amostra coletada, então feita a média desses valores.

8 ANÁLISE DOS ENSAIOS

Nesse capítulo serão expostos os dados tratados resultantes dos ensaios e respectivas análises, tanto dos ensaios realizados para se conhecer os comportamentos dos diversos aparelhos utilizados sem a influência do ar, quanto dos ensaios com ar, fim desse trabalho.

Salienta-se que a seguinte nomenclatura será empregada na representação dos gráficos e demais explicações ao longo da análise dos dados:

- a) Q: vazão média no medidor em questão;
- b) Q_r: vazão média no medidor de referência (medidor eletromagnético após a bomba);
- c) Q_{ar}: vazão de ar introduzida no sistema;
- d) $Q_{ar}/(Q_{ar}+Q_r)$: proporção de ar considerada a real introduzida na rede, também expressa como % ar.

8.1 SEM AR

Aqui serão mostrados os dados dos ensaios sem ar objetivando conhecer o comportamento dos aparelhos em relação ao medidor eletromagnético de referência em condições normais de operação. Desse modo, poderão ser distinguidos posteriormente os comportamentos devido, exclusivamente, a influência do ar nas tubulações.

A figura 32 demonstra:

- a) a microturbina apresenta valores da sua vazão sobre a vazão de referência que variam em torno de 2%, com valores tanto positivos quanto negativos, mesmo que em menor frequência;
- b) o medidor eletromagnético localizado na bancada de aferição tende sempre a registrar valores inferiores ao medidor de referência, com erros que vão de cerca de -0,5% a -2%;
- c) os valores de Q/Q_r ligados a turbina intrusiva plena seção são maiores ou muito próximos a 1, ou seja, as medidas desse aparelho apresentam predominantemente valores superiores ao medidor de referência, com erros inferiores a 1,2%;

- d) as medidas da calha Parshall apresentam grande variabilidade, uma vez que os valores dessa razão representada na figura 32 estão dispersos, e seus erros oscilam dentro de uma faixa de -1,2% a 1,2%;
- e) o hidrômetro apresenta variação de 1,5% a 3% das medidas do eletromagnético de referência.

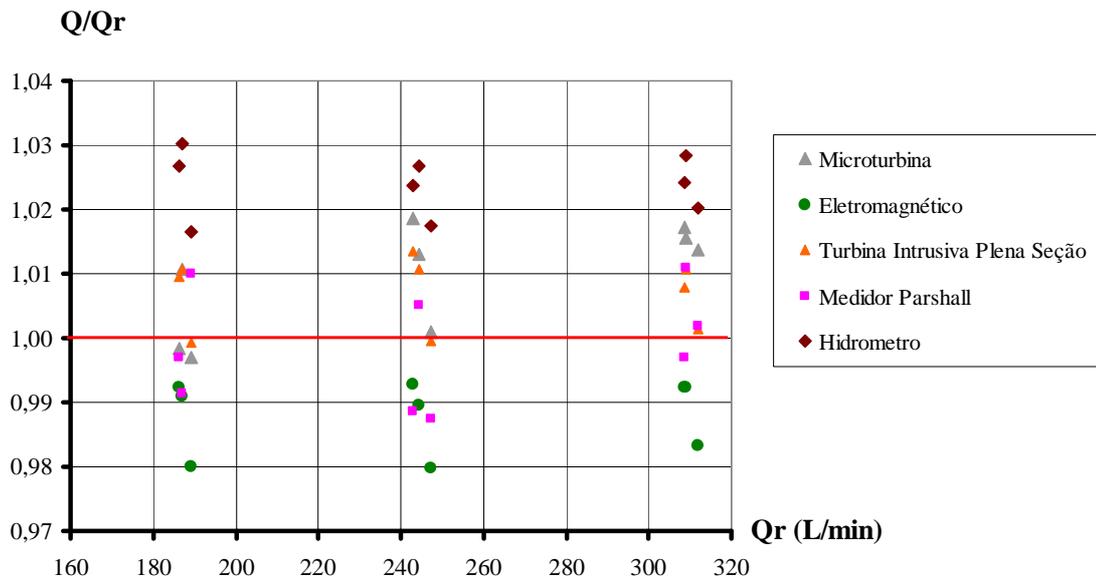


Figura 32: gráfico do comportamento dos demais aparelhos em relação ao medidor eletromagnético de referência

As diferenças encontradas nas medições, quando comparadas com o medidor na saída da bomba, foram consideradas satisfatórias, mesmo que estejam acima das apresentadas na figura 22, uma vez que o próprio medidor de referência possui um erro admissível. Portanto, nesse trabalho irá se considerar como aceitável variações apresentadas no quadro 6.

Medidor	Precisão do Fabricante	Presente Estudo
Hidrômetro	± 2 %	± 3 %
Eletromagnético	± 0,25 %	± 2 %
Microturbina	± 0,5 %	± 2 %
Turbina Intrusiva Seção Plena	± 0,5 % F.E.	± 1,5 %
Calha Parshall	± 3 %	± 3 %

Quadro 6: comparativo dos erros encontrados e a precisão dos aparelhos dada pelo fabricante

Uma vez que todas as vazões foram ensaiadas também para a linha de aferição que passa pelos dois hidrômetros instalados invertidos, foi possível fazer uma análise do erro relacionado ao eventual refluxo nesse aparelho (caso possível em condições de pausa e reabastecimento do sistema).

No gráfico da figura 33, foram cruzados os valores da razão Q/Q_r dos ensaios com água passando pela linha 2 e pela linha 3. Ou seja, foram plotados os valores de Q/Q_r de cada medidor quando foram feitas leituras utilizando a linha com o hidrômetro remoto versus suas leituras utilizando a linha dos hidrômetros invertidos. A reta vermelha no gráfico são as posições nas quais as medidas utilizando uma ou outra linha se mantiveram iguais (o erro relativo com o medidor de referência se manteve independente do percurso).

O uso da linha 2 ou 3 é equivalente a fazer ensaios onde o hidrômetro está instalado corretamente, depois retirá-lo e instalar na posição oposta refazendo os ensaios, ou seja, as variações nas leituras só se dariam no próprio hidrômetro. Desse modo, como esperado, todos os aparelhos que estão após a bancada de aferição dos hidrômetros tiveram valores nas proximidades da linha vermelha, já que para ambas as linhas suas condições ainda se mantêm as mesmas.

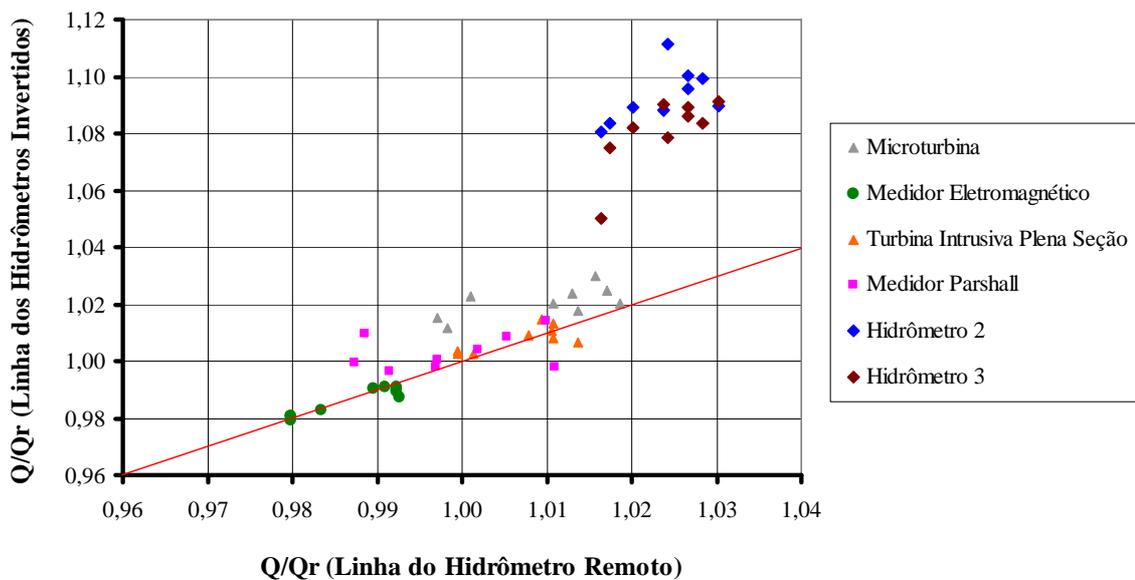


Figura 33: gráfico comparativo do comportamento dos hidrômetros no sentido correto de fluxo e invertidos.

Com relação aos hidrômetros, foram cruzados os valores da medição do hidrômetro na linha 2 com cada um dos dois da linha 3 (hidrômetros 2 e 3). Fica evidenciado, então, que ao serem instalados na posição incorreta (equivalente a trabalharem em refluxo), apresentam um erro de 5% a 8% com relação ao fluxo em sentido correto (já se considerar o erro em relação ao medidor de referência). Então esse erro é superior ao admissível estipulado, $\pm 2\%$ para hidrômetros novos, pela Portaria n. 246, de 17 de outubro de 2000, do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Sendo ainda superior ao estipulado pelo fabricante e ao considerado aceitável para esse trabalho. Desse modo, fica evidenciada a alteração do comportamento quanto há um refluxo, assim como também a importância da correta instalação desse aparelho, no sentido correto indicado pela seta na carcaça do hidrômetro ou pela posição do filtro no lado da entrada de água (conforme visto anteriormente no item referente ao hidrômetro).

8.2 COM AR

Conhecidas as margens de erro entre os aparelhos antes mesmo da inserção do ar nas tubulações, pode-se proceder com o experimento principal desse trabalho. Assim puderam se avaliar, então, o comportamento entre os diferentes equipamentos na presença de ar e, principalmente, a variação apresentada nas suas leituras.

As quantidades de ar que foram inseridas na tubulação estão no quadro 7, com as devidas transformações de unidades pela fórmula 4.

Vazões de ar		
Nm ³ /h	m ³ /h	L/min
0	0	0
0,2	0,203	3,39
0,4	0,407	6,78
0,8	0,814	13,56
1,2	1,220	20,34
1,6	1,627	27,12
2	2,034	33,90

Quadro 7: vazões de ar usadas no ensaio

A escolha desses valores de ar se baseou na escala que o aparelho oferece, indo desde o valor mínimo da graduação do rotâmetro (a fim de verificar se há um ponto a partir do qual a presença de ar gera efeito sobre as medidas) até o máximo possível. Por sua vez, as proporções de ar introduzidas na linha de aferição variam de acordo com as três vazões ensaiadas.

Nessa etapa também foram feitas medidas de temperatura ao longo do experimento com um multímetro e um termômetro de mercúrio, desse modo, pôde-se aplicar a fórmula 4 para transformação de unidades do rotâmetro. As temperaturas registradas variaram de 24,5°C a 25°C, e a pressão utilizada foi considerada como sendo 1 atm.

As proporções de ar equivalentes as vazões inseridas no rotâmetro para cada umas das vazões trabalhadas estão no quadro 8, dada pela razão entre vazão de ar medida no rotâmetro e a vazão média no medidor de referência mais a vazão de ar ($Q_{ar}/(Q_r+Q_{ar})$).

Vazões de Ar (L/min)	Proporções de Ar		
	≈ 180 L/min	≈ 240 L/min	≈ 300 L/min
0	0%	0%	0%
3,39	1,81%	1,38%	1,09%
6,78	3,58%	2,74%	2,17%
13,56	7,03%	5,37%	4,25%
20,34	10,28%	7,94%	6,30%
27,12	13,38%	10,42%	8,29%
33,90	16,54%	12,81%	10,22%

Quadro 8: proporções de ar calculadas para cada vazão ensaiada

Os dados dos ensaios podem ser vistos no Apêndice C. Estabelecido o medidor de referência, que se pressupôs registrar as vazões reais, a proporção de ar presente na bancada de aferição é dada pela razão entre a quantidade de ar inserida e a soma entre a vazão desse medidor e a vazão de ar. A figura 34 mostra o comportamento dos diversos aparelhos ao inserir diferentes proporções de ar.

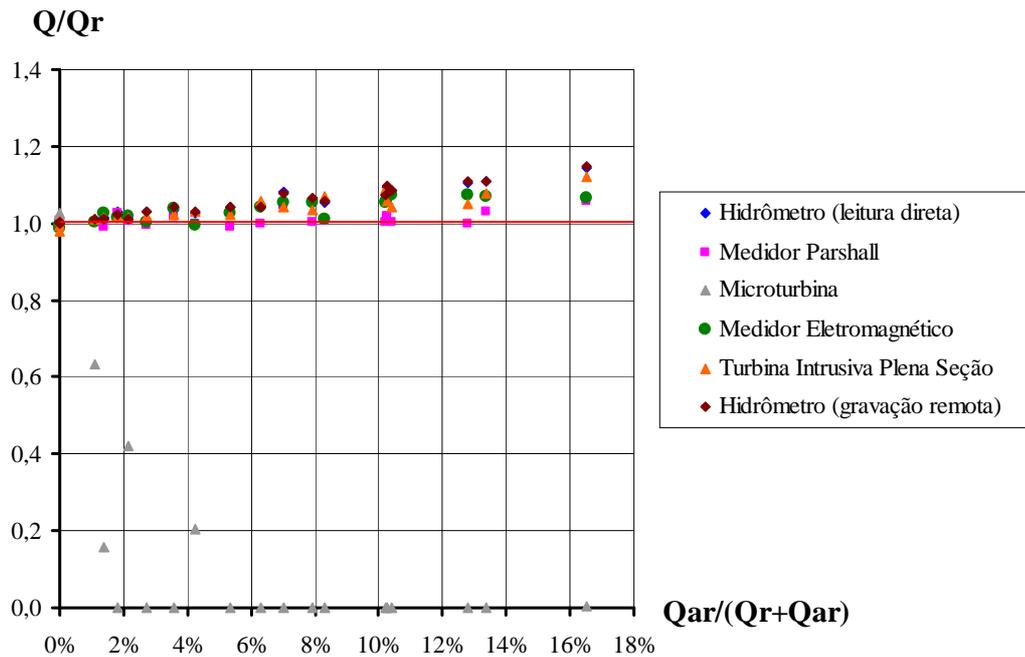


Figura 34: gráfico comparativo de comportamento da vazão pela proporção de ar inserido

8.2.1 Microturbina

A primeira reação perceptível a presença de ar na tubulação ocorreu na microturbina, que para uma quantidade da ordem de 1,8% de ar deixou de funcionar. Isso se deve ao ar no interior da tubulação tender a se acumular e ficar na porção superior da seção transversal, onde se encontra a hélice da turbina. Desse modo, mesmo quando o equipamento registrou alguma leitura, ela foi influenciada por esse ar, sendo incoerente, muito inferior ao valor esperado e distante dos demais aparelhos.

Para melhor visualizar o comportamento dos demais aparelhos, a seguir serão apresentados os gráficos individuais e correspondente análise.

8.2.2 Calha Parshall

O medidor Parshall, figura 35, apesar de apresentar certa dispersão nos valores, tende a um comportamento constante não importando a quantidade de ar inserida, o que já era esperado

devido a esse medidor ser do tipo canal aberto, como exposto anteriormente. A saída de um conduto forçado para canal à superfície livre possibilita a liberação do ar. Mesmo sem ter a influência direta do ar nas medições, os valores da calha Parshall apresentam erro devido à variação da leitura causada pela turbulência na entrada da calha, além do erro relacionado à equação de calibração encontrada e às leituras diretas nas régua. Na figura 36, pode-se ver a entrada na calha Parshall e a turbulência gerada pela saída do ar. A partir dos 7% de ar inserido os erros começam a apresentar leituras maiores que a aceitável devido a oscilação na leitura da régua ocasionada pela turbulência na entrada da calha com a liberação do ar.

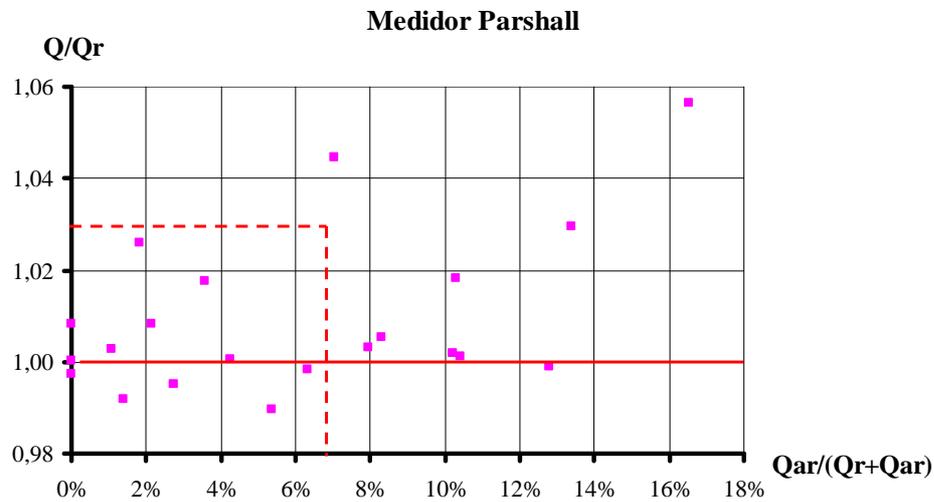


Figura 35: gráfico do comportamento das medidas do medidor Parshall para diferentes proporções de ar

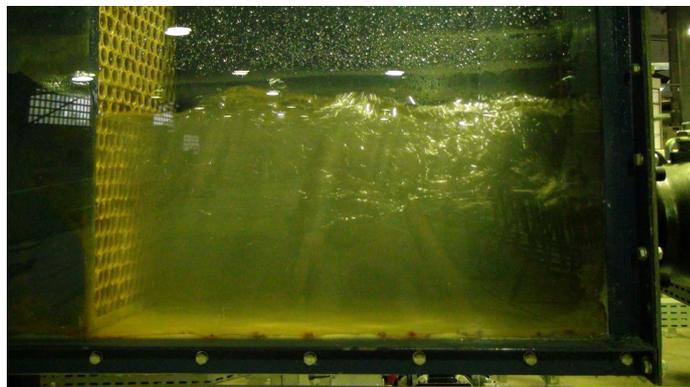


Figura 36: aspecto na saída da tubulação e entrada na calha Parshall

8.2.3 Hidrômetro

Quanto ao hidrômetro, figura 37, pode-se notar primeiramente que não houvera disparidades entre as leituras feitas diretamente no aparelho e os dados gravados remotamente. Ou seja, para esse equipamento não houve grandes variações entre trabalhar com uma média dos valores instantâneos gravados ou uma leitura direta com um mesmo intervalo de tempo. A tendência das medidas de vazão é crescer linearmente com o aumento das proporções de ar inseridas.

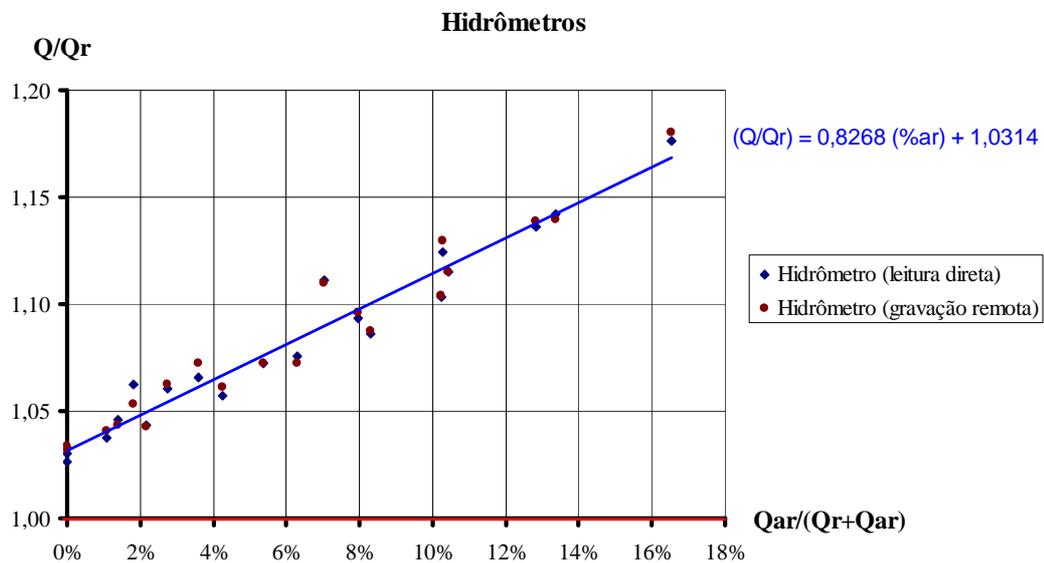


Figura 37: gráfico do comportamento do hidrômetro para diferentes proporções de ar

Considerando que a leitura sem ar no hidrômetro fosse a correta, isto equivale a se transladar a equação para o ponto onde $(Q_{ar}/(Q_{ar}+Q_r)) = 0$ e $Q/Q_r = 1$, ou seja, subtrair em $-0,0314$ da equação de tendência, figura 36. Neste caso se teria uma equação em função, exclusivamente, da entrada de ar. Ao impor a passagem da linha de tendência pelo ponto $Q/Q_r = 1$ para a condição sem nenhuma presença de ar, retirou-se o erro relativo desse medidor com relação ao medidor de referência.

Conforme a mesma figura, para a proporção máxima de ar possibilitada pelo rotâmetro e vazões trabalhadas, o erro do hidrômetro foi da ordem de 15% em relação às condições normais (sem ar).

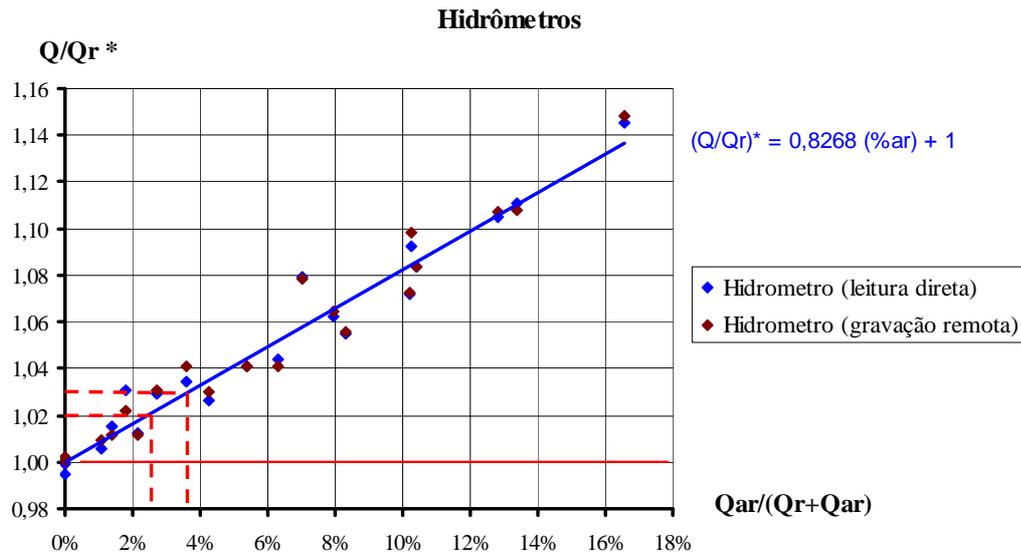


Figura 38: gráfico do comportamento do hidrômetro para diferentes proporções de ar sem o erro relativo com o medidor de referência

Como exposto na figura 38, para proporções de ar menores que 2,4%, os erros de medição ainda estão dentro da precisão do equipamento ($\pm 2\%$), podendo ser considerados aceitáveis. Já para o erro admitido nesse trabalho de 3%, proporções de ar inferiores a 3,6% são aceitas dentro do erro do aparelho (linhas tracejadas vermelhas). Pode-se perceber, até mesmo pelo coeficiente 0,8268 da linha de tendência, que o hidrômetro é muito sensível a entrada de ar.

8.2.4 Medidor Eletromagnético

Para o medidor eletromagnético, os erros maiores foram de cerca de 8%. Como se pode ver na figura 39, os pontos no geral apresentam uma tendência a valores maiores conforme sobe a proporção de ar, mas com uma dispersão considerável.

Seguindo o mesmo raciocínio feito para os hidrômetros, se considerar nulo o erro sem a presença de ar, então se subtrai 0,0029 das medidas, fazendo com que a nova reta de tendência passe pelo ponto $Q/Q_r = 1$ para nenhuma quantidade de ar (figura 40). Desse modo, retira-se o erro relativo desse medidor para o eletromagnético após a bomba (medidor de referência). A nova equação na figura fica então em função da entrada de ar.

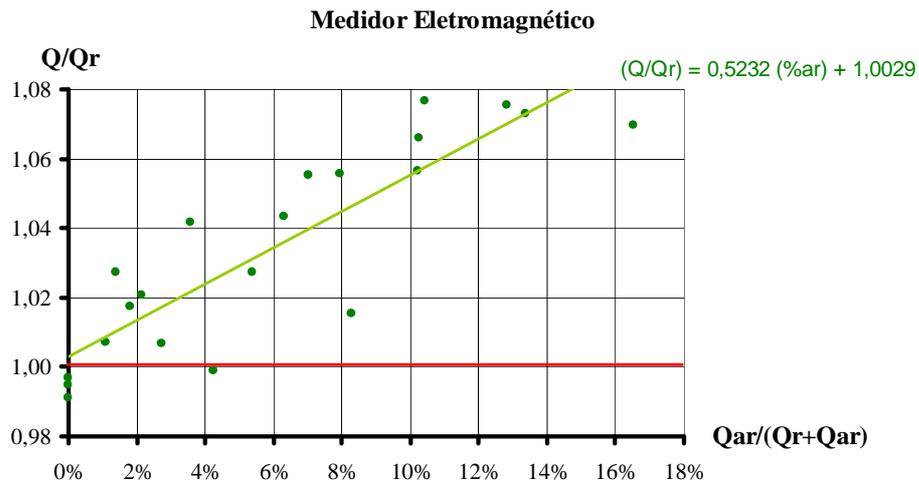


Figura 39: gráfico do comportamento do medidor eletromagnético submetido a diferentes proporções de ar

Pode-se observar que pequenas quantidades de ar já provocam um aumento na medição, entretanto, como se supôs que variações até 2% da vazão seriam aceitáveis para o medidor eletromagnético, somente uma quantidade de ar de mais de 3,8% é que ocasionaria problemas na medição. Já dentro da precisão do aparelho dada pelo fabricante de 0,25%, seria aceitável apenas 0,5 % de ar. Esses erros estão representados na figura 40 pelas linhas vermelhas tracejadas.

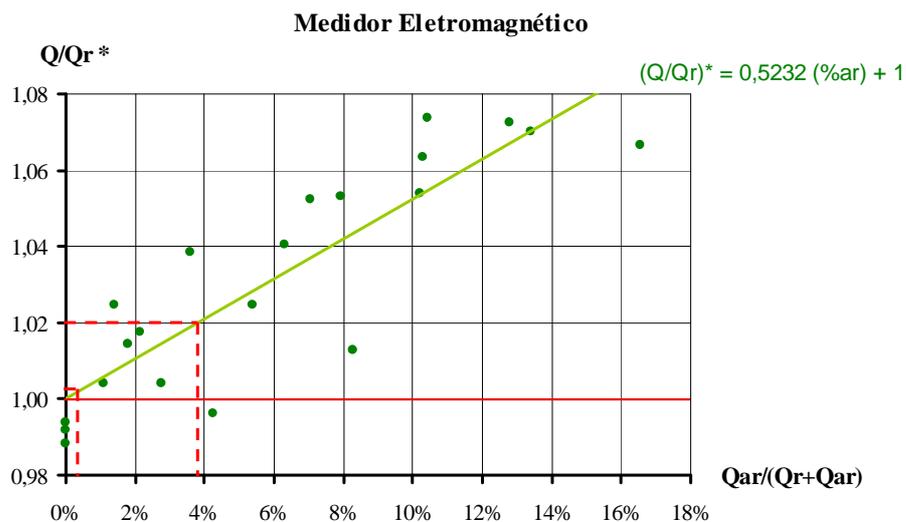


Figura 40: gráfico do comportamento do medidor eletromagnético submetido a diferentes proporções de ar sem erro com relação ao medidor de referência

8.2.5 Turbina Intrusiva Seção Plena

A figura 41 apresenta o comportamento agora para a turbina intrusiva de seção plena. Esse medidor também tem propensão a registrar leituras maiores conforme se aumentam as quantidades de ar em relação às de água na tubulação.

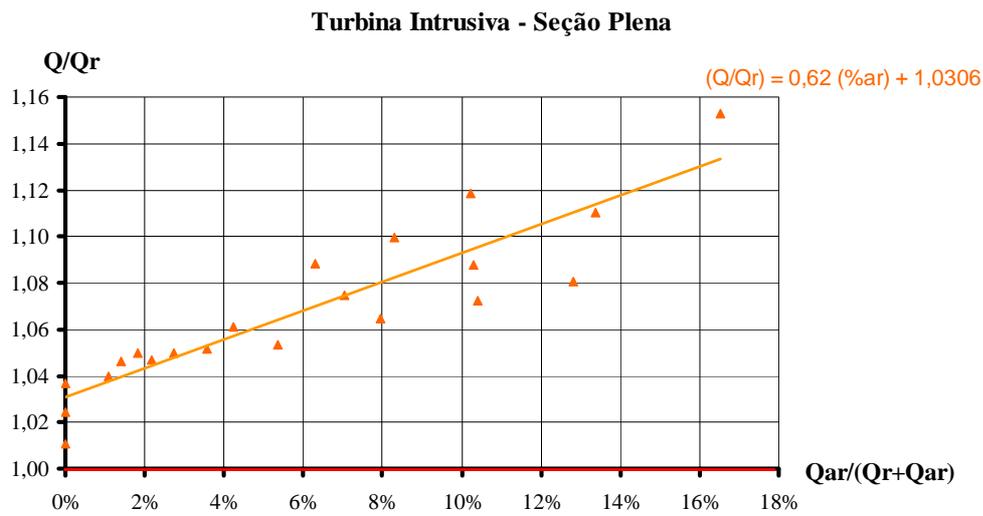


Figura 41: gráfico do comportamento da turbina intrusiva de plena seção submetida às diferentes proporções de ar

Pode-se inferir que a dispersão dos pontos tende a aumentar com a relação de ar na tubulação, para proporções inferiores a 6% os valores estão mais próximos à linha de tendência e desse ponto em diante apresentam comportamento mais disperso.

Para retirar o erro em relação ao medidor de referência foi subtraído 0,0306 das medidas, desse modo a nova linha de tendências (figura 42) agora ficaria com erro nulo ($Q/QR = 1$) para nenhuma presença de ar na tubulação.

Para a maior proporção conseguida de ar, o erro foi por volta de 12%, valor que pode variar, devido à redução de dados para essa região do gráfico, não permitindo conhecer a dispersão ou tendência para proporções de ar maiores. O erro estipulado nesse trabalho para esse medidor é de 1,5%, então são aceitáveis quantidades de ar da ordem de 2,5%.

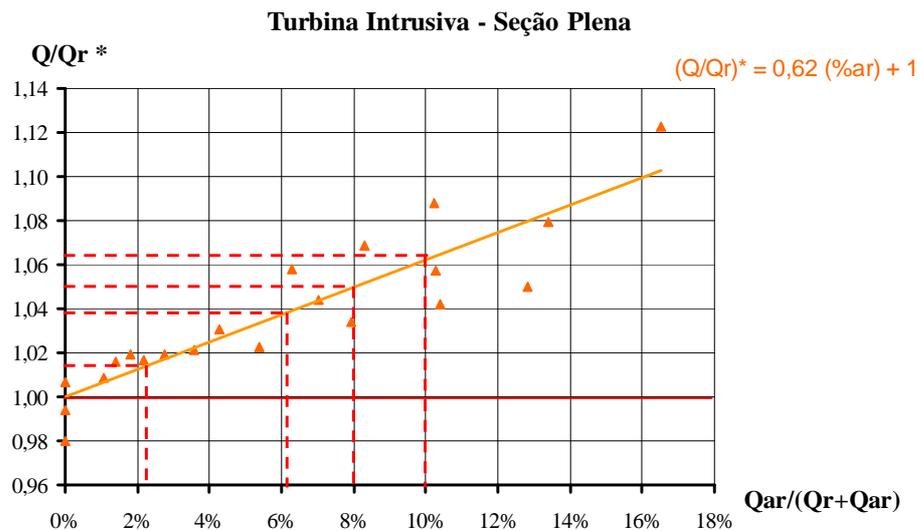


Figura 42: gráfico do comportamento da turbina intrusiva de plena seção submetida às diferentes proporções de ar sem o erro em relação ao medidor de referência

Já se considerar o erro ligado à precisão do equipamento informado pelo fabricante, as proporções de ar aceitáveis vão variar conforme a vazão em que ele está trabalhando, pois sua precisão é de 0,5% do fundo de escala. Ou seja, o erro admitido pela precisão do aparelho é fixo (11,55 L/min) independente da vazão instantânea, então quanto menores as vazões, maiores os erros de precisão toleráveis ($11,55/Q$). Nas condições impostas nesse trabalho, as proporções de ar aceitáveis, os erros proporcionais à vazão e as respectivas vazões relacionadas são expostas no quadro 9.

Vazão (l/min)	Erro de Precisão	% ar
180	6,42%	10,35%
240	4,81%	7,76%
300	3,85%	6,21%

Quadro 9: quantidades de ar aceitáveis para diferentes vazões em função da precisão do aparelho

8.2.6 Comparativo entre os Aparelhos

Para melhor visualizar as influências nos comportamentos dos equipamentos utilizados, na figura 43, os dados foram novamente reunidos, sem a microturbina, de acordo com o exposto

anteriormente. E na figura 44 o mesmo gráfico retirado os erros relativos com o medidor de referência para cada aparelho. Com os dados em uma mesma escala e as linhas de tendências lineares inseridas, evidencia-se a diferença entre os aparelhos.

Observa-se que os hidrômetros são mais sensíveis a presença de ar, o que pode ser visto pelo coeficiente angular da reta de tendência:

- a) hidrômetro: 0,8268;
- b) turbina intrusiva seção plena: 0,62;
- c) medidor eletromagnético: 0,5232.

Apesar de o hidrômetro e a turbina seção plena apresentarem o mesmo princípio de medição seus erros apresentaram gradientes diferentes, sendo o do hidrômetro o maior deles. Quanto maior a proporção de ar, mais o erro relativo entre os dois aumenta. Isso está relacionado ao tipo de turbina presente em cada medidor: no hidrômetro ela tem o eixo perpendicular ao fluxo, enquanto o outro é no mesmo sentido, causando menor obstrução ao escoamento. Ou seja, apesar de ambos se basearem na conversão de rotações em medidas de vazão, seu funcionamento e mecanismo são diferentes, ocasionando diferentes respostas frente à presença de ar.

O medidor eletromagnético e a turbina intrusiva de seção plena apresentam coeficientes angulares próximos (0,5232 e 0,62 respectivamente), indicando que o comportamento dos mesmos frente a existência de ar é semelhante.

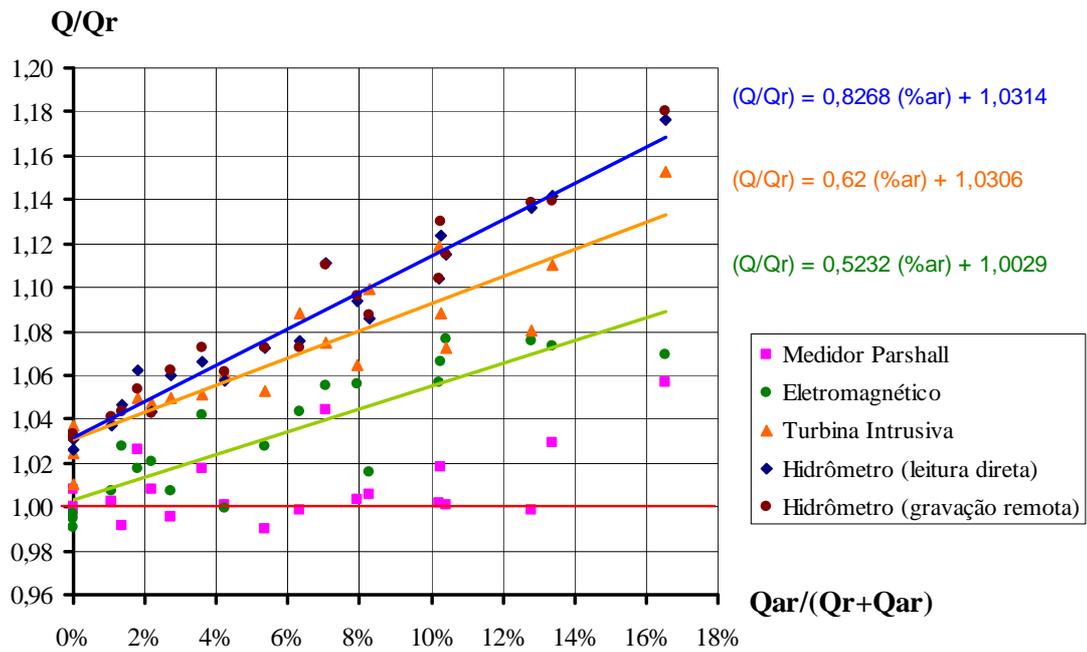


Figura 43: gráfico comparativo de comportamento da vazão pela proporção de ar inserido tendo como referencia o medidor de vazão na saída da bomba

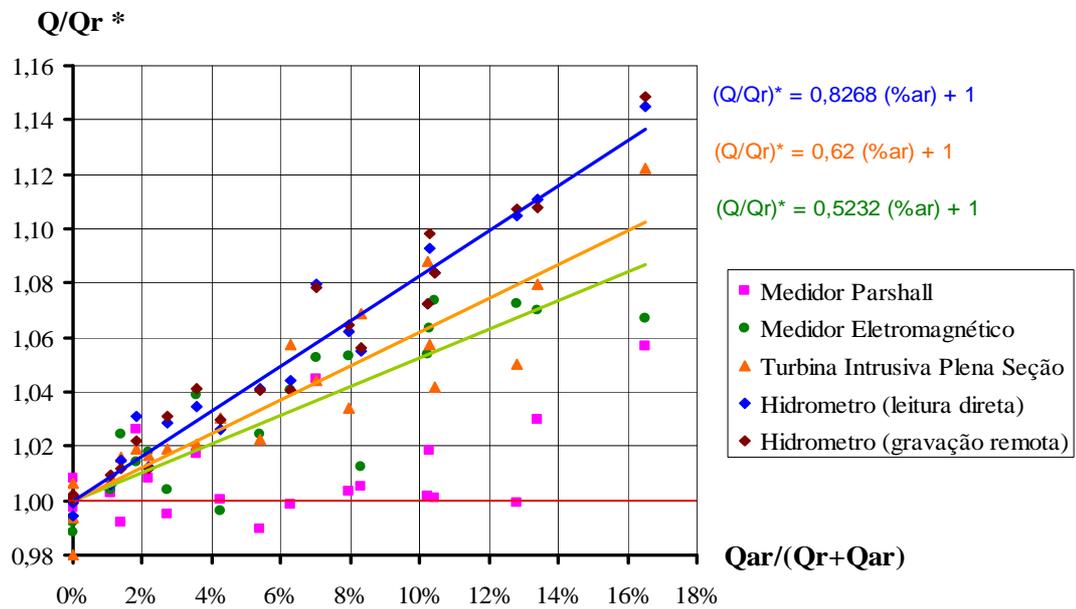


Figura 44: gráfico comparativo de comportamento da vazão pela proporção de ar inserido sem o erro em relação ao medidor de referência

9 CONCLUSÕES

Conforme pode ser visto ao longo deste trabalho, a presença de ar no escoamento afeta o comportamento dos medidores de vazão com diferentes intensidades.

Deve-se considerar que os aparelhos de medição apresentam erros intrínsecos, principalmente quando se faz a comparação entre instrumentos de diferentes tipos de medição, como foi mostrado no quadro 6. (do item 8.1). Indicando que sempre que possível deve ser feita uma calibração ou comparação com outros medidores *in loco*, para se ter uma idéia da variação nas medições.

Também ficou evidenciado a diferença de comportamento do hidrômetro trabalhando com fluxo em relação ao refluxo (ou instalado no sentido oposto indicado no aparelho). Conseqüentemente, a concepção de que os volumes a mais medidos poderiam ser retrocedidos quando do refluxo é improvável, além de serem influenciados pelas velocidades que em essas duas situações ocorram.

Em situações reais, a presença de ar é intermitente, sendo esses erros apaziguados em medições de longo prazo em que a frequência de passagem de ar é reduzida.

De um modo geral os ensaios mostraram que os medidores:

- a) microturbinas: são muito sensíveis a presença de ar, pequenas quantidades de ar (< 0,5%) já comprometem a sua medição;
- b) calha Parshall apresentou influência do ar, mas seu efeito diz respeito a oscilação do nível no local de medição, sugerindo que deve-se afastar o máximo possível a calha (ou ponto de medição dela) da saída da tubulação, dando tempo de o ar sair do escoamento e apaziguar o nível d'água. Esse equipamento pode apresentar um erro de medição normal sem ou com ar de cerca de 3 %, a partir de proporções de ar de cerca de 7% as medições apresentaram as influências de ar mencionadas;
- c) hidrômetros são mais sensíveis a influência do ar do que os eletromagnéticos cerca de 60% (0,8268/0,5232), entretanto valores inferiores a 3,6% de ar no escoamento ainda são aceitáveis para a medição (considerando os erros admitidos nesse trabalho);
- d) medidor eletromagnético apresentou bom comportamento em relação à presença de ar. Pôde-se concluir que para quantidades de ar de até 3,8%

apresentou valores aceitáveis de medição de vazão. Em comparação à turbina intrusiva seção plena e ao hidrômetro é o que apresentou menor influência em relação à quantidade de ar no sistema;

- e) turbina intrusiva seção plena são mais sensíveis a influência do ar do que os eletromagnéticos cerca de 20% (0,62/0,5232), entretanto 2,5% de ar no sistema ainda são aceitáveis na medição.

Esse estudo não pretende responder todas as questões, mas simplesmente contribuir para a compreensão dos erros de medição que podem ser causados pela Presença de Ar no Sistema de Abastecimento de Água.

Para continuidade desse estudo, sugere-se:

- a) ampliação da faixa de vazões estudadas, tanto de água quanto de ar;
- b) comparação com outros tipos de equipamentos de medição (como Pitot Colen, vertedores, etc.);
- c) investigação do tempo mínimo de medição para bons resultados;
- d) estudo de quanto ar e a frequência que os aparelhos estão sujeitos normalmente na rede;
- e) estudo com hidrômetros invertidos com presença de ar;
- f) os impactos dos erros de medição atribuídos ao ar nas contas dos consumidores (micromedição) e no controle do sistema (macromedição).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO DAS EMPRESAS DE SANEAMENTO BÁSICO ESTADUAIS. Jacareí, São Paulo. Serviço Autônomo de Água e Esgoto. Você quer economizar água? Esqueça os eliminadores de ar. Disponível em: <<http://www.saejacarei.com.br/voce.asp>>. Acesso em: 26 ago. 2010.

BAPTISTA, M. B.; COELHO, M. M. L. P.; CIRILO, J. A.; MASCARENHAS, F. C. B. **Hidráulica Aplicada**. 2. ed. rev. e aum. Porto Alegre: ABRH, 2003.

BELO HORIZONTE. Companhia de Saneamento de Minas Gerais. Como fazer a leitura e acompanhar o seu consumo. Hidrômetros – justiça acima de tudo. Disponível em: <<http://www.copasa.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=49>>. Acesso em: 17 set. 2010.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Portaria n. 246, de 17 de outubro de 2000, Brasília, DF, 2000. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/rtac/pdf/RTAC000667.pdf>>. Acesso em: 16 out. 2010.

_____. Ministérios das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. **Documento Técnico de Apoio D2: macromedição**. Brasília, DF, 2004a.

_____. Ministérios das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. **Documento Técnico de Apoio D3: micromedição**. Brasília, DF, 2004b.

_____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor Saneamento. **Guias Práticos – Técnicas de Operação em Sistemas de Abastecimento de Água: macromedição**. São Paulo, 2008a. v. 1.

_____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor Saneamento. **Guias Práticos – Técnicas de Operação em Sistemas de Abastecimento de Água: controle e redução de perdas aparentes processo comercial**. São Paulo, 2008b. v. 6.

CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM. Foz do Brasil. Citágua. Dicas: ar na rede. Disponível em: <http://www.citagua.com.br/dicas_ar_na_rede.htm>. Acesso em: 20 ago. 2010.

COELHO, A. C. **Medição de Água e Controle de Perdas**. Rio de Janeiro: ABES, 1983.

_____. **Micromedição em Sistemas de Abastecimento de Água**. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2009.

CONAUT. Medidores de Vazão Tipo Área Variável com Cone de Medição em Material Sintético. Disponível em: <www.conaut.com.br/downloads/Rotametro_acoplamento_magnetico_Modelo_440.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2011.

DELMÉE, G. J. **Manual de Medição de Vazão**. São Paulo: Edgard Blücher, 1995.

GEORG FISCHER SISTEMAS DE TUBULAÇÕES. Transmissor de Vazão Signet 8550-1. Disponível em:
<http://www.us.piping.georgefischer.com/go/42C61D8819993E1D4B287A1FF8B89543?action=GF_DocumentDownload&doc_uuid=42C61D8819993E1D4B287A1FF8B89543>.
Acesso em: 20 abr. 2011.

GOMES, H. P. **Sistemas de Abastecimento de Água**: dimensionamento econômico e operação de redes e elevatórias. 3. ed. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2009.

GOULART, W. A. Um Estudo sobre o Emprego de Hidrômetros para o Controle de Desperdícios. **ECOS**. Porto Alegre, v. 2, n. 4, p. 5-6, maio 1995.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de Água para Consumo Humano**. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2006.

INCCER INDÚSTRIA METALÚRGICA. Manual de Operação e Instalação. Calha Parshall. Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <isis_slm@hotmail.com> em 28 mar. 2011.

INCONTROL. Manual de Operação e Instalação. Medidor de Vazão Tipo Turbina para Líquidos. Disponível em: <<http://www.incontrol.ind.br/downloads/manual9.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2011.

LAO INDÚSTRIA. Hidrômetros, Multijato Magnético. Disponível em:
<<http://www.laoindustria.com.br/images/uploads/multi1polegada2010.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2011.

MELLO, E. J.; FARIAS, R. L. O Ar e a sua Influência na Medição do Consumo de Água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2001. Disponível em:
<<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/brasil/i-001.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2010.

MENDONÇA, S. R. **Manual do Reparador de Medidores de Água**. São Paulo: CETESB, 1975.

NETTO, J. M. A.; ALVAREZ, G. A. **Manual de Hidráulica**. 6. ed. rev. e aum. São Paulo: Edgard Blucher, 1973. v. 2.

NIVETEC INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE. Medidor Magnético de Fluxo. Disponível em:
<http://www.nivetec.com.br/novosite/docs/manual/2552_sensor%20vaz%C3%A3o%20eletro%20magnetico%20port.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2011.

PORTO ALEGRE. Departamento Municipal de Água e Esgotos. **Proteja seu Hidrômetro**: manual para construção de nichos de proteção. Porto Alegre, 2009.

RECH, A. L. **Água Micromedição e Perdas**. Porto Alegre: DMAE, 1992.

_____. Tarifa, Medição e Cobrança: fonte de recursos próprios. **ECOS**. Porto Alegre, v. 2, n. 4, p. 37-38, maio 1995.

REIS, L. F. R.; CHEUNG, P. B. Os Vazamentos nas Redes de Distribuição de Água. In: GOMES, H. P.; GARCIA, R. P.; REY, P. L. I. (Coord.). **Abastecimento de Água**: o estado da arte e técnicas avançadas. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2007. p. 67-84.

SARANDI. Serviço Municipal de Saneamento Ambiental. Águas de Sarandi. Entenda o hidrômetro. Disponível em: <<http://www.aguasdesarandi.com.br/conteudo.php?ID=29>>. Acesso em: 20 out. 2010.

SIEMENS. Manual. Medidores de Vazão Eletromagnéticos. Disponível em: <[http://support.automation.siemens.com/WW/adsearch/pdfviewer.aspx?HitsPerSite=10&ehbid=html_76%2Fehb%2F17532493.htm&lang=en&nodeid=17532277&siteid=cseus&query=SI TRANS%20F%20M%20MAGFLO&page=1&view=new](http://support.automation.siemens.com/WW/adsearch/pdfviewer.aspx?HitsPerSite=10&ehbid=html_76%2Fehb%2F17532493.htm&lang=en&nodeid=17532277&siteid=cseus&query=SI%20TRANS%20F%20M%20MAGFLO&page=1&view=new)>. Acesso em: 14 abr. 2011.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Laboratório de Obras Hidráulicas, Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento. Disponível em: <http://www.iph.ufrgs.br/loh/default.asp?conteudo=3_lehns>. Acesso em: 14 abr. 2011.

APÊNDICE A – Calibração do Medidor Parshall

Dados usados para a calibração da equação do Medidor Parshall, vazão do medidor referência (o eletromagnético após a bomba), níveis da calha à montante da seção estrangulada. Também é apresentado os valores resultante do cálculo das vazões pela equação proposta no item 6.3.1, e os erros correspondentes aos valores reais do medidor de referência.

Q (m ³ /s)	h (m)	Q _{calculado}	Erro
0,00311	0,188	0,00319	2,36%
0,00314	0,188	0,00319	1,41%
0,00309	0,188	0,00319	3,23%
0,00311	0,1861	0,00310	-0,31%
0,00314	0,1857	0,00309	-1,79%
0,00309	0,1858	0,00309	0,11%
0,00312	0,188	0,00319	2,15%
0,00315	0,188	0,00319	1,11%
0,00311	0,189	0,00323	3,89%
0,00312	0,1858	0,00309	-0,93%
0,00315	0,1857	0,00309	-2,08%
0,00311	0,186	0,00310	-0,36%
0,00406	0,207	0,00409	0,96%
0,00410	0,207	0,00409	-0,08%
0,00406	0,207	0,00409	0,98%
0,00406	0,2047	0,00398	-1,94%
0,00410	0,2033	0,00391	-4,67%
0,00406	0,2044	0,00396	-2,29%
0,00407	0,207	0,00409	0,57%
0,00412	0,2065	0,00407	-1,14%
0,00406	0,208	0,00415	2,17%
0,00407	0,2045	0,00397	-2,56%
0,00412	0,2044	0,00396	-3,74%
0,00406	0,2052	0,00400	-1,38%
0,00514	0,227	0,00521	1,36%
0,00519	0,227	0,00521	0,33%
0,00512	0,227	0,00521	1,74%
0,00514	0,2258	0,00514	-0,03%
0,00519	0,2262	0,00516	-0,59%
0,00512	0,2254	0,00511	-0,12%
0,00515	0,227	0,00521	1,07%
0,00520	0,227	0,00521	0,16%
0,00515	0,228	0,00527	2,30%
0,00520	0,2263	0,00517	-0,64%
0,00515	0,2257	0,00513	-0,37%
		Média	0,03%

APÊNDICE B – Dados dos Ensaios sem Ar

A seguir, os dados coletados dos ensaios sem ar passando pela linha 2 (hidrômetro em sentido correta de instalação) nos aparelhos cuja leitura foi feita visualmente:

	Leituras Visuais					
	≈ 3 L/s		≈ 4 L/s		≈ 5 L/s	
	Medidor Parshall	Hidrometro	Medidor Parshall	Hidrometro	Medidor Parshall	Hidrometro
1ª medida	185,383	192,653	245,686	250,941	312,453	317,835
2ª medida	191,159	192,385	244,142	251,560	312,453	318,201
3ª medida	185,904	191,428	240,156	248,715	307,810	316,238

* todos os valores estão em L/min

Na próxima figura os dados dos aparelhados cujas leituras foram gravadas pelo programa e parâmetros de análise, valores em litros por minuto:

		Dados Gravados Remotamente											
		≈ 3 l/s				≈ 4 l/s				≈ 5 l/s			
		Microturbina	Eletro-magnético	Turbina Intrusiva Seção Plena	Eletro-magnético de referência	Microturbina	Eletro-magnético	Turbina Intrusiva Seção Plena	Eletro-magnético de referência	Microturbina	Eletro-magnético	Turbina Intrusiva Seção Plena	Eletro-magnético de referência
1ª medida	Média	188,999	185,308	188,987	186,989	247,565	241,843	247,040	244,407	313,918	306,680	312,358	309,076
	Desvio	1,705	1,182	2,234	1,785	2,227	1,495	2,125	3,335	2,007	2,769	2,590	6,035
	Mínimo	185,688	183,000	183,957	182,070	242,028	238,300	242,286	236,320	309,852	299,400	310,142	290,897
	Máximo	192,528	187,633	194,319	191,683	252,612	244,800	252,481	250,740	318,924	312,967	315,825	321,300
	Assimetria	0,081	-0,033	0,234	0,011	-0,345	-0,159	-1,012	-0,413	0,155	-0,264	0,519	-0,415
	Curtose	-0,841	-0,820	2,392	0,343	0,150	-0,549	2,141	0,015	-0,364	0,385	-1,785	0,554
	Média+Desvio	190,704	186,490	191,220	188,774	249,793	243,338	249,165	247,743	315,925	309,449	314,948	315,111
	Média-Desvio	187,294	184,125	186,753	185,204	245,338	240,348	244,915	241,072	311,912	303,911	309,768	303,041
2ª medida	Média	188,726	185,473	189,167	189,279	247,514	242,272	247,128	247,258	316,147	306,697	312,344	311,891
	Desvio	1,597	1,177	1,582	2,102	2,219	1,551	2,038	3,879	1,780	2,399	2,786	6,103
	Mínimo	183,528	182,900	184,180	181,720	243,576	238,333	242,119	238,840	312,696	300,867	305,351	300,603
	Máximo	192,240	188,233	194,486	193,223	251,820	245,833	252,481	255,593	320,400	311,467	315,713	331,427
	Assimetria	-0,422	-0,177	1,139	-0,861	0,072	0,112	-1,138	0,048	0,302	-0,317	0,138	0,341
	Curtose	1,453	-0,002	7,602	1,573	-1,056	0,096	2,750	-0,569	-0,033	-0,376	-1,376	0,372
	Média+Desvio	190,322	186,650	190,749	191,381	249,733	243,822	249,166	251,137	317,927	309,096	315,130	317,994
	Média-Desvio	187,129	184,296	187,586	187,177	245,294	240,721	245,089	243,379	314,367	304,299	309,558	305,788
3ª medida	Média	186,140	185,019	188,216	186,456	247,462	241,167	246,246	242,944	314,022	306,345	311,195	308,743
	Desvio	1,476	1,210	2,023	1,679	1,897	1,424	2,395	2,868	2,848	3,181	2,596	4,774
	Mínimo	183,348	181,900	184,124	182,537	243,720	238,133	242,286	236,740	307,620	299,367	305,462	298,270
	Máximo	189,504	188,933	194,319	190,610	252,468	244,267	247,913	249,597	318,528	314,567	315,936	319,270
	Assimetria	0,183	0,234	-0,972	0,088	-0,006	-0,403	-1,011	0,338	-0,510	0,020	0,431	0,106
	Curtose	-0,468	1,127	1,574	0,040	-0,314	-0,408	-1,006	-0,127	-0,360	-0,307	0,650	-0,740
	Média+Desvio	187,616	186,229	190,238	188,135	249,359	242,590	248,642	245,812	316,870	309,525	313,791	313,517
	Média-Desvio	184,664	183,808	186,193	184,777	245,565	239,743	243,851	240,077	311,175	303,164	308,599	303,968

A seguir, os dados coletados dos ensaios sem ar passando pela linha 3 (hidrômetros invertidos) nos aparelhos cuja leitura foi feita visualmente:

	Leituras Visuais								
	≈ 3 L/s			≈ 4 L/s			≈ 5 L/s		
	Medidor Parshall	Hidrometro 2	Hidrometro 3	Medidor Parshall	Hidrometro 2	Hidrometro 3	Medidor Parshall	Hidrometro 2	Hidrometro 3
1ª medida	186,164	203,562	203,836	245,686	268,011	265,193	308,166	339,416	334,635
2ª medida	191,159	203,652	197,947	245,686	266,450	264,230	312,453	338,839	336,606
3ª medida	185,383	203,036	201,242	245,686	264,714	265,284	306,745	341,508	331,464

* todos os valores estão em L/min

Na próxima figura os dados dos aparelhados cujas leituras foram gravadas pelo programa e parâmetros de análise, valores em litros por minuto:

		Dados Gravados Remotamente											
		≈ 3 l/s				≈ 4 l/s				≈ 5 l/s			
		Microturbina	Eletro-magnético	Turbina Intrusiva Seção Plena	Eletro-magnético de referência	Microturbina	Eletro-magnético	Turbina Intrusiva Seção Plena	Eletro-magnético de referência	Microturbina	Eletro-magnético	Turbina Intrusiva Seção Plena	Eletro-magnético de referência
1ª medida	Média	190,561	185,110	188,367	186,824	249,400	241,257	246,713	243,543	318,072	305,532	312,106	308,791
	Desvio	2,253	0,860	2,115	1,802	2,038	1,290	2,124	3,008	2,582	1,776	2,688	5,949
	Mínimo	185,868	183,633	184,013	183,470	244,872	238,567	242,342	237,463	312,048	302,500	305,407	292,973
	Máximo	195,660	187,400	194,542	191,403	253,404	243,800	248,136	251,463	322,596	310,633	315,992	319,480
	Assimetria	0,114	0,170	-0,547	0,841	0,034	-0,002	-1,555	0,289	-0,261	0,718	0,398	-0,426
	Curtose	-0,299	-0,597	2,158	0,330	-0,496	-0,583	0,453	-0,109	-0,787	0,539	-1,097	-0,080
	Média+Desvio	192,814	185,970	190,482	188,626	251,438	242,548	248,837	246,552	320,654	307,307	314,793	314,740
	Média-Desvio	188,308	184,250	186,252	185,022	247,362	239,967	244,589	240,535	315,489	303,756	309,418	302,843
2ª medida	Média	191,331	184,833	189,162	188,469	251,495	240,734	246,451	245,850	316,661	305,829	311,863	311,116
	Desvio	1,866	1,060	1,602	1,580	2,243	1,303	2,447	3,257	1,706	2,584	2,465	5,391
	Mínimo	187,740	182,200	184,124	185,057	247,248	238,167	242,119	237,277	312,876	300,267	310,142	300,860
	Máximo	194,652	187,333	194,264	192,127	257,292	243,533	252,649	253,610	320,472	312,300	315,713	326,387
	Assimetria	-0,033	-0,107	1,080	0,235	0,183	0,331	-0,838	0,204	-0,054	0,141	0,894	0,422
	Curtose	-1,055	0,274	7,541	-0,205	-0,035	-0,445	-0,158	0,609	-0,493	-0,465	-1,239	0,158
	Média+Desvio	193,197	185,893	190,764	190,049	253,738	242,037	248,898	249,107	318,367	308,414	314,328	316,507
	Média-Desvio	189,465	183,773	187,560	186,888	249,252	239,432	244,004	242,593	314,956	303,245	309,397	305,725
3ª medida	Média	187,441	183,583	187,957	185,279	248,172	240,232	244,923	243,305	314,928	304,313	310,176	307,307
	Desvio	2,448	0,850	2,006	1,209	2,291	1,046	2,706	3,170	2,077	1,785	2,591	5,258
	Mínimo	182,880	181,567	184,124	182,233	244,116	238,433	242,231	236,483	310,392	301,200	305,462	297,057
	Máximo	192,924	185,267	189,305	187,763	254,268	242,633	247,969	250,717	320,868	307,933	315,769	320,133
	Assimetria	0,291	-0,007	-1,315	0,005	0,622	0,269	0,166	0,074	0,233	0,445	0,052	0,262
	Curtose	-0,367	-0,680	-0,268	-0,179	0,007	-0,833	-2,051	0,010	0,174	-0,575	1,051	-0,517
	Média+Desvio	189,889	184,432	189,964	186,489	250,463	241,278	247,629	246,475	317,005	306,098	312,767	312,565
	Média-Desvio	184,993	182,733	185,951	184,070	245,881	239,186	242,216	240,134	312,851	302,528	307,585	302,049

APÊNDICE C – Dados dos Ensaio com Ar

A seguir, os dados dos ensaios com ar, primeiro os aparelhos cuja leitura foi feita visualmente e logo após os dados gravados, com correspondentes parâmetros para análises adicionais.

Vazão de ar inserida	Leituras Diretas					
	Hidrômetro	Medidor Parshall	Hidrômetro	Medidor Parshall	Hidrômetro	Medidor Parshall
0	191,8527	188,5202	251,2563	242,6039	318,2011	308,8777
3,39	195,1854	188,5202	252,7114	239,5462	319,5617	308,8777
6,78	194,7826	185,9038	255,2377	239,5462	319,6931	308,8777
13,6	199,1150	187,2092	256,2923	236,5124	322,6847	305,3280
20,34	199,5320	180,7384	257,8111	236,5124	325,1277	301,8035
27,12	200,4901	180,7384	260,0780	233,5024	326,0870	301,8035
33,9	201,2522	180,7384	262,2091	230,5161	328,5871	298,3043

* todos os valores estão em L/min

Rotâmetro	≈ 3 L/s					
	Microturbina	Eletromagnético	Turbina Intrusiva Seção Plena	Hidrometro (leitura remota)	Eletromagnético de referência	
0 Nm ³ /h	188,999	185,308	188,987	193,152	186,989	Média
	1,705	1,182	2,234	1,510	1,785	Desvio
	185,688	183,000	183,957	187,500	182,070	Mínimo
	192,528	187,633	194,319	193,548	191,683	Máximo
	0,081	-0,033	0,234	-3,599	0,011	Assimetria
	-0,841	-0,820	2,392	11,324	0,343	Curtose
	190,704	186,490	191,220	194,661	188,774	Média+Desvio
187,294	184,125	186,753	191,642	185,204	Média-Desvio	
0,2 Nm ³ /h	0,000	186,925	192,882	193,548	183,729	Média
	0,000	14,374	2,483	0,000	1,256	Desvio
	0,000	157,267	188,581	193,548	179,620	Mínimo
	0,000	230,100	197,328	193,548	186,573	Máximo
	-	0,081	-0,852	-1,025	-0,433	Assimetria
	-	0,478	-0,470	-2,069	1,008	Curtose
	0,000	201,299	195,365	193,548	184,985	Média+Desvio
0,000	172,551	190,399	193,548	182,472	Média-Desvio	
0,4 Nm ³ /h	0,000	190,307	192,145	195,981	182,713	Média
	0,000	19,772	2,509	3,153	1,345	Desvio
	0,000	135,867	188,637	193,548	179,527	Mínimo
	0,000	241,600	194,486	200,000	185,593	Máximo
	-	-0,014	-0,594	0,520	-0,287	Assimetria
	-	0,930	-1,691	-1,789	-0,063	Curtose
	0,000	210,079	194,653	199,134	184,058	Média+Desvio
0,000	170,534	189,636	192,828	181,368	Média-Desvio	
0,8 Nm ³ /h	0,000	189,151	192,596	198,942	179,229	Média
	0,000	18,195	2,667	2,408	1,146	Desvio
	0,000	142,933	188,637	193,548	176,237	Mínimo
	0,000	243,500	197,551	200,000	182,957	Máximo
	-	0,159	-0,450	-1,862	0,485	Assimetria
	-	0,521	-1,042	1,514	1,271	Curtose
	0,000	207,345	195,263	201,351	180,374	Média+Desvio
0,000	170,956	189,929	196,534	178,083	Média-Desvio	
1,2 Nm ³ /h	0,000	189,258	193,122	200,565	177,515	Média
	0,000	20,233	2,838	1,908	1,548	Desvio
	0,000	130,967	188,581	200,000	173,973	Mínimo
	0,000	235,633	197,383	206,897	180,693	Máximo
	-	-0,242	-0,527	3,125	-0,050	Assimetria
	-	0,487	-0,816	8,029	-0,384	Curtose
	0,000	209,491	195,960	202,473	179,063	Média+Desvio
0,000	169,025	190,284	198,658	175,967	Média-Desvio	
1,6 Nm ³ /h	0,000	188,390	194,867	200,000	175,551	Média
	0,000	23,119	3,033	0,000	1,432	Desvio
	0,000	138,100	188,637	200,000	172,083	Mínimo
	0,000	244,000	202,119	200,000	178,733	Máximo
	-	0,142	-0,470	-	-0,265	Assimetria
	-	-0,218	0,573	-	0,353	Curtose
	0,000	211,509	197,900	200,000	176,983	Média+Desvio
0,000	165,270	191,834	200,000	174,118	Média-Desvio	
2 Nm ³ /h	0,342	182,980	197,240	201,857	171,068	Média
	2,673	34,935	4,227	3,089	1,316	Desvio
	0,000	22,333	188,693	200,000	168,117	Mínimo
	20,880	235,367	207,021	206,897	173,717	Máximo
	7,810	-2,329	0,283	1,072	-0,447	Assimetria
	61,000	8,752	0,110	-0,887	-0,211	Curtose
	3,016	217,914	201,467	204,946	172,384	Média+Desvio
-2,331	148,045	193,013	198,768	169,752	Média-Desvio	

Rotâmetro	≈ 4 L/s					
	Microturbina	Eletromagnético	Turbina Intrusiva Seção Plena	Hidrometro (leitura remota)	Eletromagnético de referência	
0 Nm ³ /h	248,547	242,009	252,279	251,426	243,284	Média
	2,061	1,935	1,081	3,700	2,283	Desvio
	244,332	237,467	247,467	250,000	237,160	Mínimo
	252,972	246,867	257,161	260,870	248,453	Máximo
	0,051	-0,044	1,498	2,241	-0,280	Assimetria
	-0,613	0,016	18,418	3,123	0,446	Curtose
	250,608	243,944	253,360	255,125	245,568	Média+Desvio
246,486	240,073	251,198	247,726	241,001	Média-Desvio	
0,2 Nm ³ /h	38,133	248,125	252,743	251,960	241,515	Média
	11,448	20,365	2,363	4,214	2,459	Desvio
	0,000	199,233	247,245	250,000	236,857	Mínimo
	57,996	306,400	257,217	260,870	249,363	Máximo
	-0,392	-0,042	0,301	1,705	0,519	Assimetria
	0,535	0,166	1,101	0,937	0,443	Curtose
	49,582	268,491	255,105	256,174	243,975	Média+Desvio
26,685	227,760	250,380	247,746	239,056	Média-Desvio	
0,4 Nm ³ /h	0,000	242,367	252,691	255,702	240,717	Média
	0,000	19,931	2,776	5,473	2,695	Desvio
	0,000	203,067	247,300	250,000	234,873	Mínimo
	0,000	299,200	257,217	260,870	246,610	Máximo
	-	0,239	0,027	-0,101	0,302	Assimetria
	-	-0,097	0,146	-2,058	-0,504	Curtose
	0,000	262,299	255,466	261,175	243,412	Média+Desvio
0,000	222,436	249,915	250,229	238,022	Média-Desvio	
0,8 Nm ³ /h	0,000	245,514	251,636	256,237	238,951	Média
	0,000	22,909	2,507	5,420	2,333	Desvio
	0,000	177,667	247,189	250,000	234,920	Mínimo
	0,000	291,300	257,161	260,870	244,720	Máximo
	-	-0,523	-0,135	-0,306	0,133	Assimetria
	-	0,718	0,692	-1,972	-0,604	Curtose
	0,000	268,424	254,143	261,657	241,284	Média+Desvio
0,000	222,605	249,129	250,817	236,618	Média-Desvio	
1,2 Nm ³ /h	0,000	248,923	251,035	258,375	235,760	Média
	0,000	25,993	2,590	4,609	2,445	Desvio
	0,000	186,467	247,245	250,000	229,367	Mínimo
	0,000	341,100	257,161	260,870	241,547	Máximo
	-	1,091	-0,143	-1,319	-0,126	Assimetria
	-	3,234	-0,227	-0,270	0,029	Curtose
	0,000	274,916	253,625	262,984	238,206	Média+Desvio
0,000	222,930	248,444	253,766	233,315	Média-Desvio	
1,6 Nm ³ /h	0,000	251,119	250,181	260,157	233,255	Média
	0,000	36,919	2,864	2,713	2,504	Desvio
	0,000	155,600	241,952	250,000	228,083	Mínimo
	0,000	328,533	257,161	260,870	238,490	Máximo
	-	-0,638	-0,168	-3,599	0,101	Assimetria
	-	0,548	-0,113	11,324	-0,733	Curtose
	0,000	288,038	253,045	262,870	235,759	Média+Desvio
0,000	214,199	247,317	257,444	230,752	Média-Desvio	
2 Nm ³ /h	0,000	248,197	249,377	262,813	230,766	Média
	0,000	34,758	2,908	4,426	2,125	Desvio
	0,000	151,100	241,952	260,870	226,287	Mínimo
	0,000	324,667	257,050	272,727	236,343	Máximo
	-	-0,274	-0,039	1,862	0,345	Assimetria
	-	0,559	-0,179	1,514	-0,012	Curtose
	0,000	282,955	252,285	267,240	232,890	Média+Desvio
0,000	213,439	246,469	258,387	228,641	Média-Desvio	

Rotâmetro	≈ 5 L/s					
	Microturbina	Eletromagnético	Turbina Intrusiva Seção Plena	Hidrometro (leitura remota)	Eletromagnético de referência	
0 Nm ³ /h	317,190	307,823	316,384	318,666	308,801	Média
	3,308	2,092	1,961	6,549	4,344	Desvio
	309,528	302,500	315,267	315,789	300,743	Mínimo
	322,704	314,033	320,449	333,333	321,113	Máximo
	-0,628	0,272	1,556	1,862	0,483	Assimetria
	-0,292	1,057	0,453	1,514	0,281	Curtose
	320,498	309,915	318,345	325,214	313,145	Média+Desvio
313,882	305,731	314,423	312,117	304,457	Média-Desvio	
0,2 Nm ³ /h	195,184	310,211	320,211	320,679	308,028	Média
	10,961	19,718	1,892	7,931	4,220	Desvio
	172,692	268,567	315,323	315,789	293,067	Mínimo
	214,992	363,667	325,295	333,333	315,933	Máximo
	-0,549	0,219	-0,214	1,012	-0,683	Assimetria
	-0,400	0,025	4,169	-1,009	1,493	Curtose
	206,144	329,929	322,103	328,610	312,248	Média+Desvio
184,223	290,493	318,319	312,748	303,808	Média-Desvio	
0,4 Nm ³ /h	129,341	312,672	320,767	319,528	306,351	Média
	5,359	21,412	2,123	7,244	4,593	Desvio
	118,044	262,500	315,435	315,789	297,570	Mínimo
	139,356	362,267	325,295	333,333	316,143	Máximo
	-0,286	-0,037	0,572	1,437	-0,064	Assimetria
	-0,927	-0,189	2,058	0,065	-0,862	Curtose
	134,700	334,084	322,891	326,772	310,943	Média+Desvio
123,983	291,260	318,644	312,284	301,758	Média-Desvio	
0,8 Nm ³ /h	62,985	304,892	323,814	323,842	305,164	Média
	11,350	23,639	2,214	8,815	4,370	Desvio
	33,660	254,800	320,170	315,789	293,860	Mínimo
	82,548	354,833	325,407	333,333	311,897	Máximo
	-0,565	-0,071	-1,009	0,169	-0,466	Assimetria
	-0,279	-0,312	-1,009	-2,040	-0,549	Curtose
	74,336	328,531	326,028	332,657	309,534	Média+Desvio
51,635	281,253	321,601	315,027	300,794	Média-Desvio	
1,2 Nm ³ /h	0,000	315,418	328,991	324,130	302,301	Média
	0,000	30,343	2,615	8,834	3,852	Desvio
	0,000	226,300	324,961	315,789	295,587	Mínimo
	0,000	387,233	333,652	333,333	310,263	Máximo
	-	-0,004	-0,349	0,101	0,229	Assimetria
	-	0,564	-0,706	-2,058	-0,799	Curtose
	0,000	345,761	331,605	332,964	306,153	Média+Desvio
0,000	285,075	326,376	315,296	298,450	Média-Desvio	
1,6 Nm ³ /h	0,000	304,861	330,022	326,431	300,203	Média
	0,000	34,539	2,613	8,642	3,887	Desvio
	0,000	237,333	325,128	315,789	290,710	Mínimo
	0,000	379,733	333,652	333,333	307,603	Máximo
	-	0,160	-0,502	-0,447	-0,186	Assimetria
	-	-0,568	-0,117	-1,862	-0,519	Curtose
	0,000	339,400	332,634	335,072	304,090	Média+Desvio
0,000	270,322	327,409	317,789	296,316	Média-Desvio	
2 Nm ³ /h	0,000	314,615	333,104	328,732	297,739	Média
	0,000	41,027	2,069	7,781	3,957	Desvio
	0,000	199,767	325,184	315,789	289,637	Mínimo
	0,000	410,567	338,610	333,333	306,577	Máximo
	-	-0,019	-0,614	-1,108	0,129	Assimetria
	-	0,486	4,279	-0,799	-0,530	Curtose
	0,000	355,642	335,173	336,513	301,695	Média+Desvio
0,000	273,589	331,035	320,950	293,782	Média-Desvio	