

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

VERIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO EM ESCALA DE
BANCADA DE TESTES DO VOLUME DE AR MEDIDO EM
LIGAÇÕES PREDIAIS

Ney Lopes Procópio

Belo Horizonte

2007

**VERIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO EM ESCALA DE
BANCADA DE TESTES DO VOLUME DE AR MEDIDO EM
LIGAÇÕES PREDIAIS**

Ney Lopes Procópio

Ney Lopes Procópio

**VERIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO EM ESCALA DE
BANCADA DE TESTES DO VOLUME DE AR MEDIDO EM
LIGAÇÕES PREDIAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Linha de pesquisa: Modelagem Física e Matemática em Hidráulica

Orientadora: Márcia Maria Lara Pinto Coelho

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2007

Página reservada para assinatura dos membros da banca

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Jandyra e João,
meus irmãos e meus filhos pelo
apoio.

À minha esposa Maria Elvira,
pelo companheirismo e por
acreditar no sucesso desse
trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me fazer acreditar nesse trabalho.

À amiga e professora Márcia Lara, orientadora do mestrado, que sempre buscou com grande entusiasmo contribuir para a melhoria deste trabalho, adicionando novos conhecimentos e sugestões. Obrigado pela paciência que sempre demonstrou nas diversas vezes em que a “incomodei” em busca de esclarecimentos e auxílio. Tenho certeza que os conhecimentos que adquiri durante nossa convivência serão sempre úteis em minha vida profissional.

Aos professores Márcio Baptista, Terezinha Espósito, Mauro Naghettini, Nilo Nascimento e Luiz Raphael Palmier, obrigado pelos conhecimentos transmitidos e pelas palavras de incentivo ao longo de meus estudos.

Ao professor Carlos Martinez, Coordenador do CPH – Centro de Pesquisas Hidráulicas da UFMG e responsável pela equipe que construiu o aparato experimental, meu muito obrigado.

Aos amigos e companheiros de sala e em especial ao Wilson pelo auxílio prestado quando do início de meus estudos. Às amigas Vanessa e Nebai, companheiras de todas as horas. Aos amigos Josias e Rubão, parceiros de estudos, obrigado.

Aos amigos Jussara e Roberto (Bob), cujo apoio dispensado foi fundamental para os meus estudos e desenvolvimento deste trabalho.

Ao André, bolsista de iniciação científica, que colaborou com entusiasmo para que este trabalho pudesse ser concluído.

Quero agradecer também a todas as pessoas, profissionais e familiares que colaboraram para a realização deste trabalho, com a certeza de que todos fizeram parte de uma equipe, em que somente com união e envolvimento de todos, os objetivos podem ser alcançados.

Obrigado

RESUMO

O presente trabalho tem por finalidade avaliar o volume de ar medido em ligações prediais de água por meio de ensaios de laboratório. Este problema tem gerado várias ações judiciais impetradas pelos consumidores de água, em tramitação na justiça de diversas comarcas brasileiras, que reclamam dos valores cobrados a mais pelos serviços de saneamento em virtude do volume de ar registrado pelos hidrômetros. Devido ao grande interesse pelo tema, este trabalho procura esclarecer alguns pontos desse conflito, por meio de ensaios numa bancada que simula um trecho de rede interligada a um ramal predial. Adicionalmente, foram efetuados testes para avaliar a eficiência e aplicabilidade de válvulas redutoras de ar em ligações prediais, uma vez que a Lei Estadual 12.645/97 permite aos consumidores de água de Minas Gerais a instalação desses equipamentos. Além da avaliação dos aparelhos, verificou-se a eficiência de uma ventosa, instalada a montante do ramal predial no ponto mais alto da rede de abastecimento de água.

Os resultados obtidos, sob condições normais de abastecimento de água, mostraram que a quantidade de ar na água medida pelos hidrômetros é comparável àquela encontrada na água no meio ambiente.

Por outro lado, os resultados dos experimentos com abastecimento de água, logo após esvaziamento da rede interligada ao ramal predial, revelou que o volume de água que chega ao reservatório calibrado está compreendido entre 4 e 9% do total do volume ar-água registrado pelo hidrômetro, para os experimentos efetuados no intervalo de tempo de teste de 180s e pressão de 10mca. Para o mesmo intervalo de tempo, porém com a pressão de 50 mca, o volume de água varia entre 6 e 21% do volume total registrado pelo hidrômetro. Aumentando-se o intervalo de tempo para 300s, e mantendo a pressão em 10mca, o volume de água que efetivamente chega ao reservatório calibrado situa-se entre 7 e 20% do volume total registrado pelo hidrômetro.

Estes resultados evidenciam os erros cometidos pelo hidrômetro ao medir o escoamento bifásico ar e água.

Para avaliar a eficiência de aparelhos destinados a reduzir o volume de ar nos ramais prediais, três dispositivos utilizados para reduzir o ar transportado junto com a água foram testados: “eliminador de ar”, “bloqueador de ar” e “ventosa”.

Dentre as válvulas testadas, o “eliminador de ar” apresentou melhor desempenho, em termos de eficiência na retirada de ar, principalmente para as menores vazões. Já o “bloqueador de ar”, além de possuir desempenho inferior ao “eliminador de ar” testado, ao bloquear o ar transportado pela rede de abastecimento pode contribuir para que os bolsões de ar contidos no ramal predial retornem à rede de abastecimento, influenciando assim, no registro de ar por uma outra estrutura de medição próxima. Em relação aos outros aparelhos testados, a “ventosa” apresentou desempenho inferior ao “bloqueador de ar” e muito inferior ao desempenho do “eliminador de ar”.

ABSTRACT

The purpose of the present work is to evaluate the volume of air measured in domestic water supply pipe connections. It is a current problem as shown by a series of suits running in courts in several cities questioning that the amounts charged by the water supply companies might have been increased by air in the water distribution network. Due to the high level of interest generated by the matter, the present work will try to clarify some conflicting points through essays performed in a hydraulic laboratory counter which simulates a part of a distribution pipe connected to a domestic water supply pipe. Additionally, tests were performed to evaluate the efficiency and applicability of air reducing valves in domestic water supply connections, once the Act 12645/97 allows Minas Gerais water consumers to have the installation of such equipment. In addition to the evaluation of such devices, the efficiency of air release valves was checked, installed upstream the domestic water supply pipe at the highest point of the water supply network.

The results obtained under regular water supply conditions showed that the quantity of air in the water measured by the hydrometers is comparable to the one found in the environment water.

On the other hand, the water supply, right after emptying the network connected to the domestic water supply pipe, revealed that the volume of water which gets to the gauged reservoir, comprehends 4% and 9% of the total air-water volume recorded by the hydrometer for the experiments performed in the test time interval of 180 seconds and a 10 mca pressure. For the same time interval, despite the 50 mca pressure, the volume of water varies from 6% to 21% of the total volume recorded by the hydrometer. By increasing the time interval to 300 seconds, and keeping the pressure at 10 mca, the volume of water that effectively gets to the gauged reservoir is between 7% and 20% of the total volume recorded by the hydrometer.

Such results show clearly the mistakes made by the hydrometer when measuring the two-phase outflow of water and air.

In order to evaluate the efficiency of the apparatus aimed at reducing the volume of air in the domestic water supply, three devices used to reduce the air carried along with the water were tested: “air eliminator”, “air blocker” and “air release valve”.

Among the valves tested, the “air eliminator” presented the best performance in terms of efficiency in the air withdrawal, especially for the smallest outflow. As to the “air blocker”, in addition to having a lower performance compared to the tested “air eliminator”, when blocking the air carried by the water supply network it can contribute so as the water pockets contained in the domestic water supply pipe return to the water supply network, therefore influencing in the air registration through another measuring structure next to it. Concerning the other apparatus tested, the “air release valve” has lower performance than the “air blocker” and a lot lower than the “air eliminator” performance.

As to the apparatus tested “air eliminator”, for discharges lower than 0.18 m³/h, the efficiency was 91% and 99% for pressures 0.5 MPa and 0.1 MPa, respectively. The results also revealed that the hydrometer, even after being specified adequately for the consumption measured, in the presence of air, may operate out of the recommended range, causing its mechanism to wear down and mistakes higher than 5%.

The results obtained cannot be generalized for water supply systems and it is still important to take into account that the volume of air measured in the experiments is peculiar of the tests bench. Therefore, as to the water supply networks, the volume of water carried into the water supply network will depend on the diameter and the pipes length and on the existence or not of devices aimed at eliminating the air out of such networks.

SUMÁRIO

SIGLAS	3
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABELAS.....	8
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVOS.....	13
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	14
3.1 INTRODUÇÃO	14
3.2 OCORRÊNCIA DE AR NA ÁGUA	14
3.3 PADRÕES DE ESCOAMENTO CONJUNTO AR/ÁGUA	17
3.4 MECANISMOS DE MOVIMENTAÇÃO E REMOÇÃO DO AR.....	21
3.5 AR: PRINCIPAIS PROBLEMAS.....	39
3.6 REMOÇÃO MECÂNICA.....	40
3.7 LIGAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUA	49
3.7.1 Componentes da ligação predial	50
3.8 HIDRÔMETROS	51
3.8.1 Classificação segundo classes metrológicas.....	54
3.9 CONSIDERAÇÕES PARCIAIS.....	57
4. MATERIAL E MÉTODOS	58
4.1 INTRODUÇÃO	58
4.2 APARATO EXPERIMENTAL	58
4.2.1 Aparelho eliminador de ar.....	63
4.2.2 Aparelho bloqueador de ar.....	64
4.2.3 Ventosa simples.....	66
4.3 METODOLOGIA.....	68
4.3.1 Os testes efetuados.....	68
4.3.2 Simulação das condições normais de operação	72
4.3.3 Simulação das condições de abastecimento após esvaziamento da rede.....	74
4.4 CONSIDERAÇÕES PARCIAIS	76
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	77
5.1 INTRODUÇÃO	77
5.2 ENSAIO EM CONDIÇÕES NORMAIS DE OPERAÇÃO SEM VÁLVULA REDUTORA DE AR.....	77
5.3 QUANTIFICAÇÃO DO VOLUME DE AR PRESENTE NO RAMAL PREDIAL.....	78
5.3.1 Quantificação do volume ar para intervalo de tempo de 180s-situação de desabastecimento sem abastecimento	78
5.3.2 Quantificação do volume ar para intervalo de tempo de 300s-situação de desabastecimento sem abastecimento	81
5.4 TESTES COM APARELHOS REDUTORES DE AR.....	85
5.4.1 “Eliminador de ar”.....	85
5.4.2 “Bloqueador de ar”	86
5.4.3 “Ventosa”	87
5.5 COMPARAÇÃO ENTRE AS EFICIÊNCIAS DOS APARELHOS TESTADOS	88
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	91
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94

APÊNDICES.....	98
APÊNDICE 1: TABELA DE DADOS DE AFERIÇÃO DOS HIDRÔMETROS	98
APÊNDICE 2: TABELA DE DADOS DE AFERIÇÃO DO REGISTRO DE PRESSÃO: 10 MCA.	99
APÊNDICE 3: TABELA DE DADOS DE AFERIÇÃO DO REGISTRO DE PRESSÃO: 50 MCA.	101
APÊNDICE 4: QUANTIFICAÇÃO DO VOLUME DE AR MEDIDO EM LIGAÇÃO PREDIAL APÓS DESABASTECIMENTO COM TEMPO DE 180S E PRESSÃO DE 10 MCA.	102
APÊNDICE 5: QUANTIFICAÇÃO DO VOLUME DE AR MEDIDO EM LIGAÇÃO PREDIAL APÓS DESABASTECIMENTO COM TEMPO 180S E PRESSÃO DE 50 MCA.	104
APÊNDICE 6: QUANTIFICAÇÃO DO VOLUME DE AR MEDIDO EM LIGAÇÃO PREDIAL APÓS DESABASTECIMENTO COM TEMPO 300S E PRESSÃO DE 10 MCA.	106
APÊNDICE 7: QUANTIFICAÇÃO DO VOLUME DE AR MEDIDO EM LIGAÇÃO PREDIAL APÓS DESABASTECIMENTO COM TEMPO 300S E PRESSÃO DE 50 MCA.	108
APÊNDICE 8: TABELA DE DADOS PARA O TESTE DO BLOQUEADOR DE AR OPERANDO COM PRESSÃO ESTÁTICA DE 10 MCA.	109
APÊNDICE 9: TABELA DE DADOS PARA O TESTE DO BLOQUEADOR DE AR OPERANDO COM PRESSÃO ESTÁTICA DE 50 MCA.	111
APÊNDICE 10: TABELA DE DADOS PARA O TESTE DE VENTOSA OPERANDO COM PRESSÃO ESTÁTICA DE 10 MCA.	113
APÊNDICE 11: TABELA DE DADOS PARA O TESTE DE VENTOSA OPERANDO COM PRESSÃO ESTÁTICA DE 50 MCA.	115

LISTA DE ABREVIATURAS SIGLAS E SÍMBOLOS

a.C.	Antes de Cristo	
ABCON	Associação Brasileira de Consumidores	
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas	
AESBE		
ASCE	American Society of Civil Engineers	
ASSEMAE	Associação dos Serviços Municipais de Saneamento	
AWWA	American Water Works Association	
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal	
CEDAE	Companhia Estadual de Água e Esgoto- Rio de Janeiro	
CETEC	Centro Tecnológico de Minas Gerais	
CITÁGUA	COMPANHIA ITAPEMIRIM DE ÁGUA	
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	
CSIR	Council for Scientific and Industrial Research	
d.C.	depois de Cristo	
DMAE	Departamento Municipal de Água e Esgoto	
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia	
LAO	Liceu de Artes e Ofícios	
LEVR-AR	Laboratório de Ensaios de Válvulas Redutoras de Ar	
PROCON	Procuradoria de Defesa do Consumidor	
SABESP	Companhia de Saneamento de São Paulo	
SAEE	Serviço Autônomo de Água e Esgotos	
TAC	Termo de Ajuste de Conduta	
C_0	Coeficiente adimensional obtido experimentalmente por Kent ($C_0=1,53$)	[-]
D	Diâmetro do tubo	[m]
d.C.	depois de Cristo	
E	Eficiência Obtida pelo Equipamento Testado	[%]
F_1	Número de Froude a montante do ressalto hidráulico	[-]
Fr	Número de Froude	
g	aceleração da gravidade	[m/s ²]
H_1	Hidrômetro 1	
H_2	Hidrômetro 2	
I	Declividade da tubulação	[m/m]
L_b	comprimento do bolsão de ar	[m]
L_{fin}	Leitura final	[m ³]
L_{inc}	Leitura inicial	[m ³]
M	Manômetro	
mca	Metros de coluna de água	
n	Tamanho do bolsão de ar	[m]
°C	Graus centígrados	
Pa	Pascal	

Q	Vazão	[m ³ /h]
Q ₁	Vazão registrada pelo hidrômetro 1	[m ³ /h]
Q ₂	Vazão registrada pelo hidrômetro 2	[m ³ /h]
Q _{água}	Vazão de água	[m ³ /h]
Q _{ar}	Vazão de ar	[m ³ /h]
Q _{ar}	Vazão de ar	[m ³ /h]
Q _{máx}	Vazão máxima registrada pelo hidrômetro	[m ³ /h]
Q _{máx}	Vazão de máxima operacional do hidrômetro	[m ³ /h]
Q _{mín}	Vazão mínima registrada pelo hidrômetro	[m ³ /h]
Q _{mín}	Vazão de mínima operacional do hidrômetro	[m ³ /h]
Q _n	Vazão nominal do hidrômetro	[m ³ /h]
Q _n	Vazão nominal de operação do hidrômetro	[m ³ /h]
Q _{ref}	Vazão de referência do hidrômetro	[m ³ /h]
Q _t	Vazão de transição do hidrômetro	[m ³ /h]
Q _t	Vazão de transição do hidrômetro	[m ³ /h]
Re	Número de Reynolds	[-]
RP	Registro de Pressão	
rpm	Rotações por minuto	
s	Segundos	
U _{água}	Velocidade da água em relação a velocidade de referência	[m/s]
U _{ar}	Velocidade do ar+água em relação a velocidade de referência	[m/s]
U _{ar+água}	Velocidade do fluido bifásico no aparato experimental	[m/s]
U _b	Velocidade da bolha de ar no aparato experimental	[m/s]
U _f	Velocidade do fluido no aparato experimental	[m/s]
U _{ref}	Velocidade de referência do fluido para dada vazão de teste	[m/s]
V	Volume do bolsão de ar	[m ³]
v	Velocidade necessária para transportar bolhas de ar em tubos inclinados	[m/s]
V	Volume	[m ³]
v ₁	Velocidade de água a montante do ressalto hidráulico	[m/s]
V ₁	Volume medido no Hidrômetro 1	[m ³]
V ₂	Volume medido no Hidrômetro 2	[m ³]
V _{água}	Volume de água medido pelo hidrômetro no ramal predial	[m ³]
V _{ar}	Volume de ar medido pelo hidrômetro no ramal predial	[m ³]
v _c	Velocidade crítica da água	[m/s]
V _c	Velocidade crítica para mover bolsões de ar em tubulações niveladas	[m/s]
VE	Válvula de esfera	
V _r	Velocidade de aumento do bolsão de ar	[m/s]
V _R	Volume de água que aflui ao recipiente calibrado	[l]

VR	Válvula de retenção	
V_R	Volume medido no recipiente calibrado	[m ³]
V_s	Velocidade de varredura	[m/s]
V_s	Velocidade crítica para mover bolsões de ar em tubulações inclinadas	[m/s]
y_1	Lâmina de água na tubulação	[m]
Δ	Relação da variação de velocidade da bolha de ar	[-]
∇_b	Comprimento do bolsão de ar	[m]
θ	Ângulo de inclinação da tubulação	graus
γ	Peso específico da água	[kg/m ³]
μ	Viscosidade do fluido	
ρ	Densidade do fluido	
σ	Tensão superficial	[kg/m ²]

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1- Tomada d'água em reservatório de distribuição (Tsutiya, 2005).	15
Figura 3.2- Tubulação com bolsa de ar :em repouso(a); em movimento sem ressalto (b); em movimento com ressalto (c) (Quintela, 1981)	16
Figura 3.3- Poço de sucção de elevatória de água (Tsutiya, 2005)	17
Figura 3.4- Modelos de escoamento vertical.(Adaptado de Falvey, 1980).	18
Figura 3.5- Modelos de escoamentos horizontais (Adaptado de Falvey, 1980).	20
Figura 3.6- Relação entre: (a) declividade da tubulação, (b)diâmetro da tubulação, (c)vazão de água e o (d)gradiente hidráulico quando inicia-se a remoção de ar (Adaptado de Kalinske & Bliss, 1943).	22
Figura 3.7- Valores experimentais para o número de Froude crítico a jusante do ressalto hidráulico (Adaptado de Kalinske & Robertson, 1943).	23
Figura 3.8- Velocidade mínima necessária para o transporte de bolhas em tubulações inclinadas negativamente (Adaptado de Kent, 1952).	24
Figura 3.9- Taxas de escoamento necessárias para o transporte de bolhas e bolsões de ar em tubos de inclinação entre 0 e 44° (Adaptado de Falvey, 1980).	26
Figura 3.10- Esquema de montagem do cavalete no ponto de coleta de dados (Leal e Teixeira, 2004).	32
Figura 3.11- Aparato de teste (COPASA, 2004)	35
Figura 3.12- Aparato de testes utilizado pela CAESB (CAESB, 2005).	36
Figura 3.13- Cavalete especial montado para verificação da influência do eliminador de ar na medição do consumo de água na rede de distribuição (Souza <i>et al</i> , 2006).	37
Figura 3.14- Danos ocasionados em condutos por mau funcionamento de válvulas de ar.	41
Figura 3.15- Válvula de vácuo (Adaptado de VENT-O-MAT, 2006).	42
Figura 3.16- Ventosa simples (ARI-Valves, 2006).	43
Figura 3.17- Ventosa de tríplice função (Bárbara, 1998).	44
Figura 3.18- Locais recomendados para instalação de válvulas de ar nas tubulações.	47
Figura 3.19- Ábaco para seleção de ventosas (Barbará, 1998)	48
Figura 3.20- Ligação predial.	51
Figura 3.21- Hidrômetro monojato.....	52
Figura 3.22: Hidrômetro multijato.....	53
Figura 3.23- Hidrômetro Woltman.....	53
Figura 3.24: Curva de Erros dos hidrômetros taqueométricos (Rech, 1999).	55
Figura 4.1- Vista lateral direita do LEVR-AR	59
Figura 4.2- Vista lateral direita do LEVR-AR (imagem).....	59
Figura 4.3- Vista lateral esquerda do LEVR-AR.	60
Figura 4.4- Vista lateral esquerda do LEVR-AR (imagem).....	60
Figura 4.5- Vista interna do LEVR-AR- montagem dos cavaletes conforme padrão COPASA.	61
Figura 4.6- Vista interna do LEVR-AR- montagem dos cavaletes conforme padrão COPASA	61
Figura 4.7- Aferição dos hidrômetros do ramal de 3/4”.....	62
Figura 4.8- Montagem de aparelho eliminador de ar.	63
Figura 4.9- Vista explodida do eliminador de ar.	64
Figura 4.10- Montagem de bloqueador de ar.	65
Figura 4.11- Vista explodida do bloqueador de ar.	65
Figura 4.12- Ventosa montada na linha de recalque.	66

Figura 4.13- Ventosa montada na linha de recalque.	67
Figura 4.14- Fluxograma de teste.	70
Figura 4.15- Aferição do registro de pressão para a carga de 10mca.	71
Figura 4.16- Aferição do registro de pressão para carga de 50mca.	72
Figura 5.1- Volume registrado pelo hidrômetro <i>versus</i> volume do reservatório de calibração	80
Figura 5.2- Volume registrado pelo hidrômetro <i>versus</i> volume do reservatório de calibração	80
Figura 5.3- Volume registrado pelo hidrômetro <i>versus</i> volume do reservatório de calibração	82
Figura 5.4- Comparativo de velocidades.	84
Figura 5.5- Comparativo de eficiência em pressões extremas do aparelho eliminador de ar. .	85
Figura 5.6- Comparativo da eficiência do aparelho bloqueador de ar.	86
Figura 5.7- Comparativo da eficiência da ventosa.	87
Figura 5.8- Gráfico eficiência <i>versus</i> vazão para pressão de 10mca.	89
Figura 5.9- Gráfico vazão/eficiência para pressão de 50mca.	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Evolução do consumo <i>per capita versus</i> hidrometração em Porto Alegre (Rech, 1999).....	11
Tabela 3.1- Equações relacionadas à remoção de ar nas tubulações que contêm água.....	29
Tabela 3.2- Características dos pontos de coleta de dados (Adaptado de Leal e Teixeira, 2004)	33
Tabela 3.3- Condições de instalação (Souza <i>et al</i> , 2006).....	38
Tabela 3.4- Classes metrológicas dos hidrômetros (Rech, 1999).....	54
Tabela 3.5- Erros de indicação de hidrômetros (Rech, 1999)	56
Tabela 4.1- Vazões de trabalho para hidrômetros de 3 e 5 m ³ /h.	69
Tabela 4.2- Parâmetros hidráulicos condições normais de operação	69
Tabela 4.3- Condições de operação da bomba para pressão de 10mca.....	71
Tabela 4.4- Condições de operação da bomba para pressão de 50mca.....	71
Tabela 4.5- Tabela de dados dos experimentos:condições normais de operação.....	73
Tabela 4.6- Tabela de dados dos experimentos:condições normais de operação.....	75
Tabela 5.1- Resultado dos testes realizados na situação normal de abastecimento.	77
Tabela 5.2- Vazões e velocidades de ar e de água verificados na ligação predial	79
Tabela 5.3- Vazões e velocidades de ar e de água verificados na ligação predial	79
Tabela 5.4- Vazões e velocidades de ar e de água verificados na ligação predial	81
Tabela 5.5- Vazões e velocidades de ar e de água verificados na ligação predial.....	81
Tabela 5.6- Vazões e velocidades de ar e de água verificados na ligação predial	82
Tabela 5.7- Vazões e velocidades de ar e de água verificados na ligação predial	83
Tabela 5.8- Eficiência do aparelho eliminador de ar.....	85
Tabela 5.9- Eficiência de aparelho bloqueador de ar	86
Tabela 5.10- Eficiência da ventosa.....	87
Tabela 5.11- Tabela comparativa de eficiência eliminador, ventosa e bloqueador de ar para pressão de teste de 10mca.....	88
Tabela 5.12- Tabela comparativa de eficiência eliminador, ventosa e bloqueador de ar para pressão de teste de 50mca.....	89

1. INTRODUÇÃO

A água sempre representou um papel essencial para o desenvolvimento e sobrevivência da humanidade, ao mesmo tempo em que a disponibilidade de água potável vem diminuindo cada vez mais na natureza. Desde que o homem passou a viver em comunidades, criando animais e desenvolvendo atividades agrícolas, a demanda por água tem sido crescente. O aumento das comunidades tem tornado cada vez mais complexa a operação de suprir as necessidades de água de forma contínua.

Tsutiya (2005) cita que as primeiras obras conhecidas em termos de abastecimento e distribuição de água datam de 6000 a.C. Por volta de 1700 a 1450 a.C., a cidade de Knossos, em Creta, desenvolveu um sistema de adução de água através de condutos circulares forçados. Entre 4 e 14 d.C. a cidade de Ephesus, situada na Ásia Menor, construiu um sistema de adução composto de barragem e de condutos forçados cerâmicos com 6 km de extensão. Ao longo dos séculos até os dias atuais, o desenvolvimento dos sistemas de adução e distribuição de água apresentou progressos notáveis na área de projetos de engenharia e no campo do desenvolvimento dos materiais utilizados.

A partir do século XVIII, a humanidade conheceu grande progresso com a revolução industrial, utilizando-se do vapor, eletricidade e combustíveis fósseis em substituição ao trabalho braçal e animal. Aliado ao crescimento industrial e tecnológico, foi possível verificar o crescimento da expectativa de vida dos habitantes do planeta, principalmente pelo progresso da ciência baseado na concepção higienista implantada a partir do final do século XIX.

A difusão do pensamento higienista fez com que os dirigentes municipais passassem a dar maior ênfase à salubridade advinda do abastecimento de água, permitindo assim, que a expectativa de vida da população aumentasse e as doenças oriundas da água praticamente erradicadas nos países mais desenvolvidos.

Com os benefícios gerados, começaram a ser desenvolvidos meios de levar o novo serviço à população com a criação das companhias de tratamento e distribuição de água potável. Azevedo Netto *et al.* (1998) destacam como fato relevante, a conclusão do primeiro sistema coletivo de abastecimento de água no Brasil em 1723 na cidade do Rio de Janeiro. Outro fato

importante foi a criação da Repartição de Água e Esgoto da cidade de São Paulo em 1893 (Azevedo Netto *et al.*, 1976).

A taxa de urbanização aumentou de forma significativa a partir do início do século XX, junto com o aparecimento de novas demandas e necessidades para as populações urbanas.

A princípio, a água era distribuída sem restrição, sendo que o órgão gestor do sistema não possuía nenhum controle sobre a quantidade consumida. Segundo Rech (1999), foi constatado um patamar inicial de consumo *per capita* na ordem de 300 litros por habitante dia. Dado à necessidade de estender o benefício às demais parcelas da população, o investimento precisava ser otimizado. A preocupação com a disciplina do consumo de água data da Roma antiga.

Coelho (1983) cita o livro *Aquis Urbis Romae* (O Abastecimento de Água na Cidade de Roma) de Sextus Julius Frontinus, como sendo a mais antiga documentação que trata sobre o controle do uso da água. Frontinus (35 a 104 d.C.), governador da Britânia, ocupou o cargo de Superintendente dos Aquedutos de Roma no ano de 97 d.C. a convite do imperador Nerva, com a finalidade de resolver o problema de controle de perdas associadas à utilização de ligações clandestinas por parte dos moradores de Roma, fato até hoje relevante no planejamento estratégico dos serviços de saneamento.

A respeito da necessidade de disciplinar o consumo, Rech (1999) cita Saturnino de Brito... “Qual, pois, o motivo para não se pagar à água, desde que sua distribuição seja feita por um serviço regular, que torne fácil a sua aquisição”... - Não pode subsistir a dúvida:- todo o consumidor deve pagar por medida paga o que compra para se alimentar ou vestir-se, como por medida paga a vela, o petróleo, o gás ou a eletricidade. E a manutenção higiênica, que indiretamente influi sobre a coletividade? Também por esse motivo o consumo de água não deve ser ilimitado; muito se tem dito e repetido que não é a quantidade de água que faz a higiene, e sim o bom emprego de volume bastante para as necessidades. Acresce que uma torneira aberta relaxadamente no quintal, a alagar o terreno, é abuso muito vulgar, muito conhecido nos abastecimentos pródigos, e só pode trazer prejuízos à salubridade”

Necessitava-se de um mecanismo eficaz de controle do consumo em cada residência. Decidiu-se, então, pela hidrometração como forma disciplinadora da quantidade fornecida para

consumo, e geradora de recursos financeiros. Dados históricos disponíveis do DMAE- Departamento Municipal de Água e Esgotos de Porto Alegre mostram a redução do consumo *per capita* a partir da instalação dos hidrômetros (Tabela 1.1).

Tabela 1.1 - Evolução do consumo *per capita* versus hidrometração em Porto Alegre (Rech, 1999).

Ano	Consumo <i>per capita</i>	Hidrômetros instalados
1928	278,0	Zero
1931	220,0	7945
1934	200,2	10084
1937	197,3	11852
1938	189,1	19051
1939	178,5	24214
1941	167,0	25213
1942	172,0	24838

Inicialmente, a implantação dos hidrômetros enfrentou resistência da população. Segundo Rech (1999), a partir da instalação dos primeiros hidrômetros em Porto Alegre em 1928, verificou-se que o consumo *per capita* reduziu-se a 172 litros por habitante dia em 1942, apesar do crescimento da rede física e do aumento da população. A eficácia da medida pôde então ser comprovada.

O aumento do consumo domiciliar, aliado à falta de investimento do setor público na ampliação e melhoria dos sistemas de abastecimento de água, tem provocado intermitência no fornecimento de água, o que provoca a admissão de ar nas tubulações.

Surge, então, a afirmação por parte da população que haveria ar sendo medido e cobrado em suas contas mensais de água. Por outro lado, os serviços de saneamento contrapõem-se a esta assertiva, dando origem a uma série de ações judiciais que tramitam em diversas comarcas, de interesse dos consumidores.

Diversos setores e organizações da sociedade civil têm-se interessado por aparelhos que eliminem o ar antes do hidrômetro, para que esse volume não seja cobrado do consumidor. Um desses aparelhos, denominado eliminador de ar, surgiu em 1991, possuindo o mesmo princípio de funcionamento da ventosa simples. Algumas empresas que comercializam esse aparelho acenam com uma redução de até 35% no valor mensal da conta de água.

Já no estado de Minas Gerais, a Lei nº 12.645/97 torna obrigatória a instalação do aparelho eliminador de ar quando solicitado pelo consumidor. A regulamentação deu-se através de um Termo de Ajuste de Conduta celebrado em 4 de Agosto de 2006 entre o PROCON estadual, a COPASA e o Movimento das Donas de Casa e Consumidores de Minas Gerais, fixando prazos e preços para a disponibilização do serviço de instalação do aparelho.

Existe outro tipo de equipamento, denominado bloqueador de ar, cuja instalação é efetuada após o hidrômetro, não havendo assim, possibilidade de restrição da instalação dos mesmos pelas companhias concessionárias. Havendo ar na tubulação, o equipamento bloqueia a passagem do fluxo de água. Entretanto, ainda não há registro de sua eficiência na literatura técnica.

Para tentar responder as questões apresentadas pela sociedade em relação à quantidade de ar medido pelos hidrômetros e, também, se os equipamentos existentes no comércio podem, de fato, eliminar o ar que chega aos ramais prediais, apresenta-se este trabalho organizado em seis capítulos. O primeiro capítulo contém o relato histórico da utilização da água pelo homem bem como as dificuldades existentes com o controle do fornecimento de água, além dos problemas existentes entre os consumidores e as concessionárias. No Capítulo 2 são apresentados os objetivos dessa pesquisa. No Capítulo 3 é feita uma revisão da literatura abrangendo os principais problemas ocasionados pela incorporação do ar à água, maneira como o ar pode ser introduzido nos sistemas de abastecimento, padrões de escoamentos bifásicos (água-ar) nas tubulações, bem como os componentes que fazem parte de uma ligação predial e que podem influenciar direta ou indiretamente na incorporação e/ou eliminação do ar dos sistemas de distribuição. Faz-se uma descrição detalhada dos medidores de vazão, no caso os hidrômetros, responsáveis pela totalização do volume de ar ou água registrado, e também das ventosas e dos aparelhos destinados a reduzir e/ou eliminar o ar conduzido aos ramais prediais pelas redes de abastecimento. No Capítulo 4, descreve-se a metodologia utilizada na calibração dos instrumentos, assim como os critérios utilizados na sistemática de obtenção e análise de dados. O Capítulo 5 apresenta os dados referentes aos resultados obtidos durante os testes de verificação da eficiência dos aparelhos testados, bem como as discussões referentes aos resultados obtidos. No Capítulo 6, finalizando o trabalho, apresentam-se as conclusões e recomendações referentes aos testes efetuados.

2. OBJETIVOS

2.1 *Objetivo geral*

O objetivo geral da presente pesquisa é avaliar a quantidade de ar medida em uma ligação predial, em condições de funcionamento normal da rede de abastecimento de água e de desabastecimento da rede seguida de abastecimento de água por meio de ensaios de laboratório.

2.2 *Objetivos específicos*

Constituem objetivos específicos do presente trabalho, os seguintes itens:

- Quantificação do volume de ar medido em uma ligação predial de água em função da pressão na rede de abastecimento;
- Avaliação da eficiência de aparelhos destinados à remoção de ar nos ramais prediais;
- Avaliação da eficiência das ventosas na remoção de ar instalada em um ponto alta da rede de abastecimento.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 *Introdução*

A entrada, o controle e a liberação de ar em tubulações destinadas a conduzir água é um dos principais e mais freqüentes problemas que ocorrem nos sistemas de abastecimento. Os efeitos causados pela incorporação de ar às redes de distribuição de água não contam com uma bibliografia específica que aborde o tema com profundidade, clareza e que estabeleça conclusões definitivas a respeito do assunto. Na maioria das vezes, o tema abordado gira em torno dos problemas causados na sucção das bombas ou o aumento da perda de carga nas tubulações.

A interferência dos bolsões de ar na medição dos consumos é um tema relativamente recente, provocado pelos consumidores de água que, sentindo-se prejudicados por pagar ar como se fosse água, insistem em instalar equipamentos destinados à redução de ar.

Os itens subseqüentes procuram esclarecer as razões pelas quais o ar entra na rede de distribuição de água, como ocorre o escoamento água-ar nas tubulações, os problemas causados e as soluções utilizadas para a remoção do ar das redes de abastecimento de água e dos ramais prediais.

3.2 *Ocorrência de ar na água*

Para se medir, controlar ou dispor do ar encontrado nas tubulações é importante entender os vários modos que este pode aparecer na tubulação.

As águas encontradas na natureza contêm certa quantidade de ar dissolvido, cujo nível de saturação, em temperaturas normais, é de aproximadamente 2%. Entretanto, este pode sair da solução geralmente como resultado de uma redução na pressão (Quintela, 1981). Essa propriedade física da água denomina-se solubilidade, comum aos gases, e é regida pela Lei de Henry, que diz: “A concentração de saturação de um gás na água, de solubilidade moderada e com a qual não reage quimicamente, é proporcional à pressão parcial do gás, numa dada temperatura, e inversamente proporcional à temperatura” (Freitas, 1970). O aumento de temperatura pode também promover a liberação do ar, uma vez que a pressão de vapor da água aumenta com a temperatura. Considere, por exemplo, que a pressão de vapor da água a

15°C é igual a 1707 Pa e a 30°C é de 4238 Pa. Isto significa que a 30°C o volume potencial de ar a ser liberado é 2,5 vezes maior que o volume que pode ser liberado da água a 15°C. Isso pode ser uma consideração importante para o projeto de tubulações em climas quentes ou sujeitas a altas variações térmicas (Douglas, Gasiorek & Swaffield, 1985).

Assim, tendo ar normalmente dissolvido na água, a liberação deste pode ocorrer devido à diminuição da pressão e/ou aumento da temperatura da água durante o escoamento.

Existem, entretanto, outras situações nas quais o ar pode ser introduzido nas tubulações. Estas estão listadas a seguir:

- preenchimento ou esvaziamento das linhas: a incorporação de ar pode ocorrer durante o preenchimento e/ou esvaziamento das tubulações. O movimento do ar ao longo do tubo pode estar ocorrendo abaixo da velocidade necessária para sua movimentação durante o preenchimento, ficando preso em pontos altos do sistema;
- entrada de ar devido ao baixo nível de água nos reservatórios, ocasionando vórtices na tubulação de saída do reservatório (Figura 3.1). Este problema surge devido ao projeto inadequado que não prevê um rebaixo no fundo do reservatório onde está instalada a tubulação de saída, ocasionando assim, uma submersão insuficiente da tubulação de saída. Além disso, o cálculo do volume de reservação inadequado pode ser uma das causas do problema;

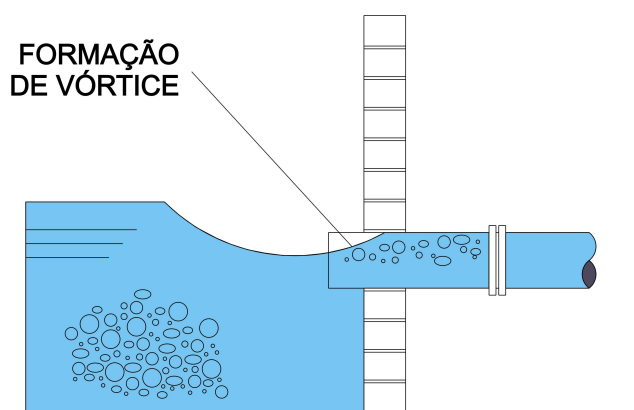


Figura 3.1- Tomada d'água em reservatório de distribuição (Tsutiya, 2005).

- ressalto hidráulico: a ação da gravidade no escoamento pode ocasionar uma sobrecarga, possibilitando assim a formação de um ressalto hidráulico. A Figura 3.2 (a) mostra um bolsão de ar aprisionado em um ponto alto de um conduto, com a água em repouso.

Quando em uma situação posterior há escoamento, processa-se com superfície livre, estando o ar a pressão constante ao longo do trecho, desde que sua velocidade seja pequena. Durante o escoamento, no trecho em declive do conduto, a passagem do escoamento sob pressão a jusante faz-se por aumento gradual de altura de água, ou, bruscamente por meio de ressalto hidráulico, fenômeno que desenvolve grande turbulência, ilustrado pela Figura 3.2 (b) e (c) (Quintela, 1981).

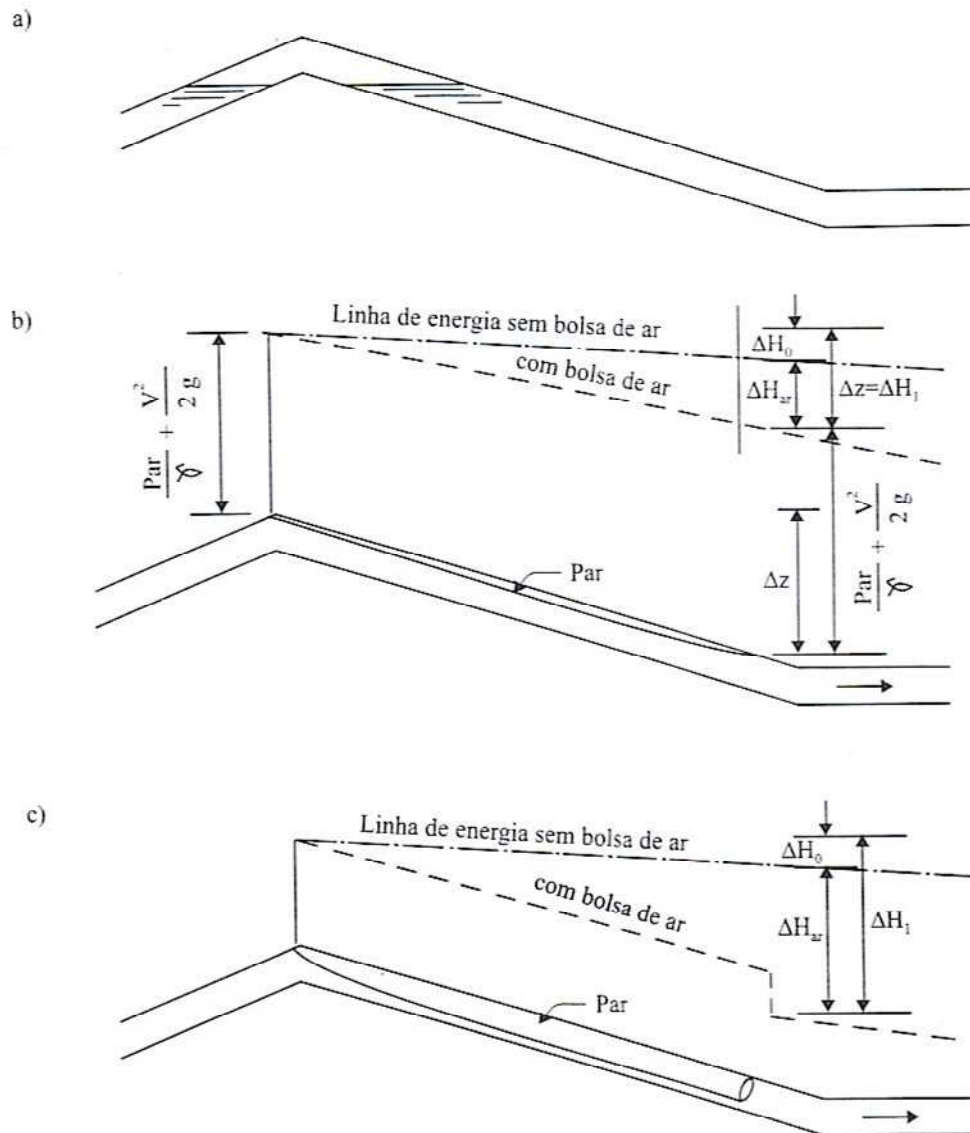


Figura 3.2- Tubulação com bolsa de ar :em repouso(a); em movimento sem ressalto (b); em movimento com ressalto (c) (Quintela, 1981)

- bombeamento direto: bombeamento direto de ar para dentro de um sistema pode ser executado para reduzir pressões cavitantes;

- bombas operando abaixo do NPSH (*Net Positive Suction Head*) requerido, succionam o ar emulsionado, causando cavitação. A quantidade de ar que entra na tubulação é pequena, sendo a maior consequência os danos causados à bomba (Figura 3.3);

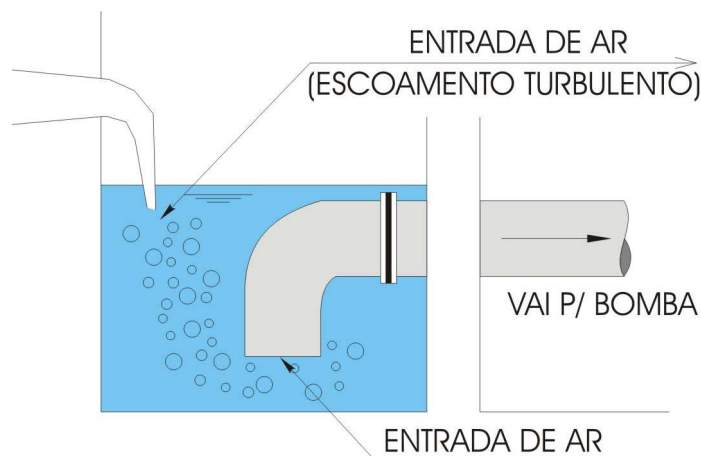


Figura 3.3- Poço de sucção de elevatória de água (Tsutiya, 2005)

- formação de gás através de atividade biológica;
- nas regiões sob pressão negativa, o ar pode entrar ou sair pelas juntas e encaixes.

3.3 Padrões de escoamento conjunto ar/água

Falvey (1980) enumera diversos padrões de escoamentos possíveis no caso de escoamento conjunto de água e ar. Os padrões variam de acordo com a inclinação das tubulações, a saber:

Escoamentos verticais

Os escoamentos verticais são os que possuem maior simetria em relação ao eixo da tubulação. Os padrões de escoamento são mostrados na Figura 3.4 e descritos a seguir:

- escoamento de bolhas: o ar é distribuído na água de forma esférica ou em conjunto de bolhas em formato de gorro, proporcionalmente pequenas em relação ao diâmetro do conduto. Esse padrão de escoamento ocorre quando uma quantidade relativamente pequena de ar é misturada com um escoamento de água moderado;
- escoamento tampão: ocorre à medida que o escoamento de ar aumenta. A transição do escoamento de bolhas para o escoamento tampão pode ser verificada quando o diâmetro da bolha é aproximadamente a metade do diâmetro do tubo condutor;

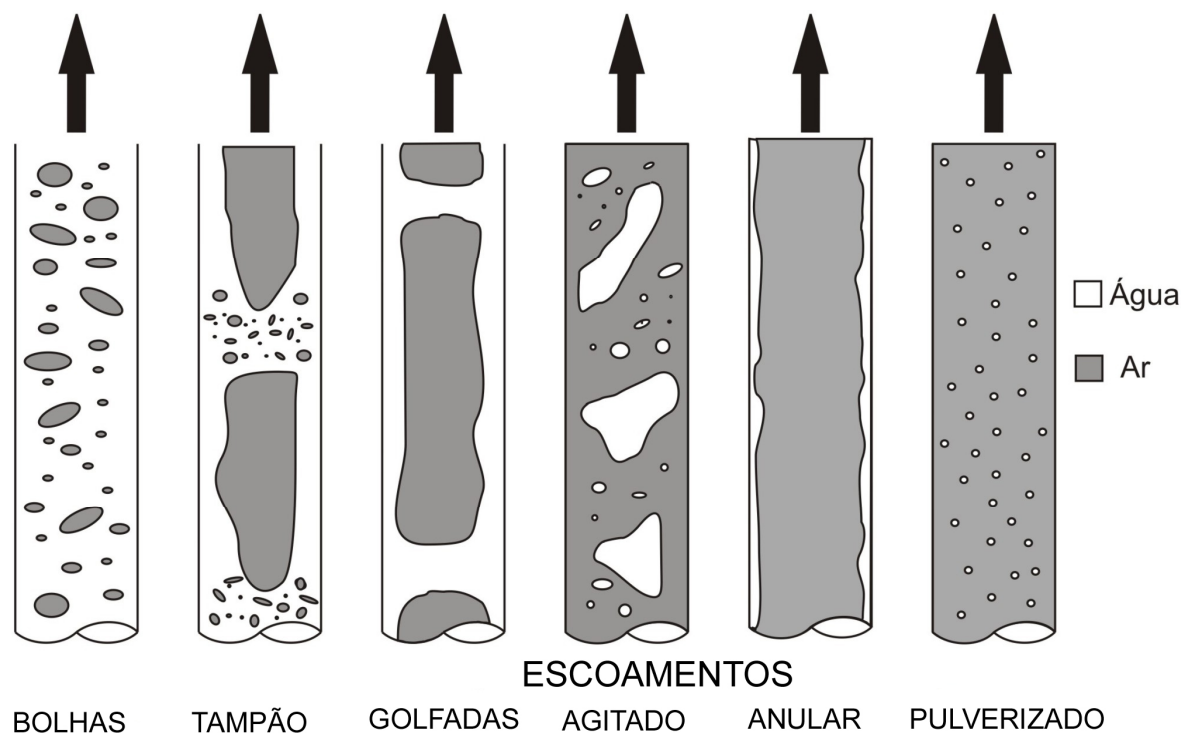


Figura 3.4- Modelos de escoamento vertical.(Adaptado de Falvey, 1980).

- escoamento de golfadas: o aumento do fluxo de ar a jusante forma um conjunto regular de bolhas muito grande. Cada uma dessas bolhas ocupa quase toda a seção transversal do tubo, exceto uma fina camada de líquido junto à parede do conduto, sendo que seu comprimento é várias vezes o diâmetro do tubo;
- escoamento de agitado: à medida que o escoamento de ar aumenta, o escoamento transforma-se em um padrão de escoamento desordenado e turbulento de ar e água. Esse tipo de escoamento é freqüentemente referido como um escoamento de espuma ou como um escoamento turbulento de agitação;
- escoamento anular: para taxas de escoamento de ar relativamente altas com baixa vazão de água, ocorre o escoamento anular. A água flui como um filme na parede do tubo enquanto o ar move-se através da porção central do tubo;
- escoamento pulverizado: para taxas de vazão de ar muito grandes, o filme anular de água é retirado das paredes do tubo e é carregado no ar como gotas pulverizadas. Isso é algumas vezes referido como escoamento anular misto.

Escoamentos inclinados

Os padrões de escoamento em tubos inclinados são os mesmos que ocorrem nos escoamentos verticais, exceto pela limitação ou total supressão do escoamento de bolhas.

Escoamentos horizontais

A maioria dos escoamentos em tubos horizontais mostra um padrão não simétrico devido aos efeitos da força da gravidade em fluidos que possuem densidades diferentes, caso do ar e da água. Isso gera uma tendência à estratificação na direção vertical, que significa que o escoamento do líquido tem uma tendência a ocupar a parte mais baixa do tubo e forçar o ar ou vapor para as partes superiores. Estes padrões podem ser vistos na Figura 3.5 e são explicados a seguir:

- escoamento de bolhas: a velocidade da água e das bolhas de ar são aproximadamente iguais. Se as bolhas estão dispersas através da água, o escoamento é denominado escoamento de espuma. Padrões de escoamento de bolhas ocorrem a taxas de escoamento de líquido relativamente altas, com baixa vazão de ar;
- escoamento tampão: para grandes taxas de vazão de ar, as bolhas de ar colidem entre si, formando um padrão de escoamento intermitente no qual bolsões de ar irão se desenvolver. Esses bolsões ou tampões são aprisionados na seção central do escoamento e transportados alternadamente com o escoamento de água ao longo da parte superior da tubulação;
- escoamento suave estratificado: uma conexão/interface horizontal distinta separa o escoamento ar-água. Esse padrão de escoamento é geralmente observado a taxas relativamente baixas de vazão de água e de ar;
- escoamento ondulante estratificado: à medida que a vazão de ar aumenta, ondas de superfície aparecem na interface de fluxo estratificado. A interface suave do caso anterior tornou-se ondulada;

- escoamento de golfadas: as amplitudes de onda são grandes o suficiente para lacrar o conduto. As ondas de ar formam uma golfada espumante quando ela toca a parte superior do conduto. A golfada de ar viaja com uma velocidade mais alta que a velocidade média do líquido;

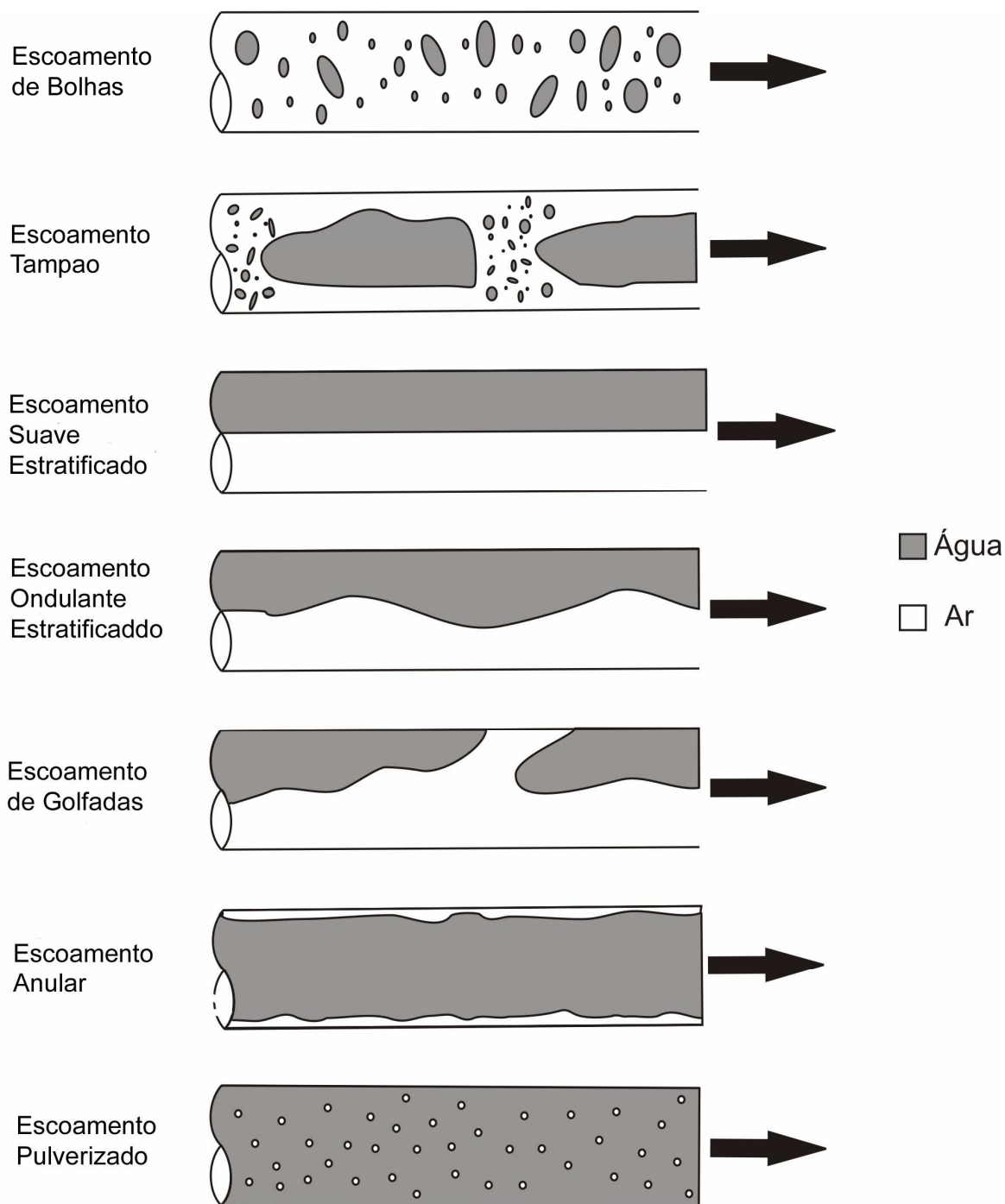


Figura 3.5- Modelos de escoamentos horizontais (Adaptado de Falvey, 1980).

- escoamento anular: para altas taxas de vazão de ar, a água flui como um filme na parede do tubo (zona anular), enquanto o ar flui como um caroço em alta velocidade na seção central do tubo;
- escoamento pulverizado: para taxas de vazão de ar extremamente grandes, o filme anular se desprende da parede do tubo e é transportado no ar como gotas.

3.4 Mecanismos de movimentação e remoção do ar

Existem três padrões de escoamento que são de interesses distintos no projeto de sistemas de tubulações. Dentre os três padrões, destacam-se o escoamento de bolhas e o escoamento tampão (movimento de bolsões de ar). Nestes dois padrões, vazões relativamente baixas de ar movem-se com o escoamento de água. Um terceiro padrão de escoamento de interesse em projetos é o escoamento de golfadas, no qual taxas significativamente maiores de escoamento ar-água ocorre. Bolhas e bolsões de ar podem ocorrer em situações onde o ar está presente no tubo pelas razões mencionadas em 3.2, enquanto que o escoamento de golfadas pode, por exemplo, ocorrer como um resultado de obstruções durante as operações de preenchimento e esvaziamento das tubulações. A movimentação conjunta ar-água e a remoção hidráulica do ar foi objeto de diversas pesquisas, entre as quais se destacam:

- Veronese (1937), *apud* Wisner, Moshen & Kouwen (1975) observou que para tubos maiores que 100mm de diâmetro, bolhas de ar seriam varridas para fora a certa “velocidade limite”. Para um tubo de diâmetro de 100mm, a “velocidade limite” foi de 0,59m/s. Nenhuma menção é feita à inclinação do tubo em relação a horizontal.
- Kalisnke & Bliss (1943) estudaram os mecanismos de remoção de ar em tubos inclinados. Em todas as inclinações formaram-se ressaltos hidráulicos, menos nas condições próximas ao nivelamento. Observou-se que a taxa na qual o ressalto admite ar, não corresponde, necessariamente, à taxa na qual o ar é removido do bolsão. A jusante do ressalto, exceto pelas bolhas de ar, o tubo fluiu cheio, e a taxa na qual o ar é eventualmente removido depende da velocidade da água fluindo no tubo. Para qualquer tamanho de tubo e inclinação, havia uma descarga na qual a taxa de ar admitido pelo ressalto era igual à taxa de transporte do ar a jusante, cuja relação é ilustrada pela Figura 3.6. Os resultados mostraram que a remoção de ar foi controlada por dois fenômenos hidráulicos diferentes. Para descargas mais

baixas, a remoção do ar foi controlada pelas características do escoamento a jusante do ressalto. Para descargas maiores, a remoção do ar foi controlada pelo ressalto hidráulico, uma vez que o fluxo de água foi capaz de carregar todo o ar admitido pelo ressalto.

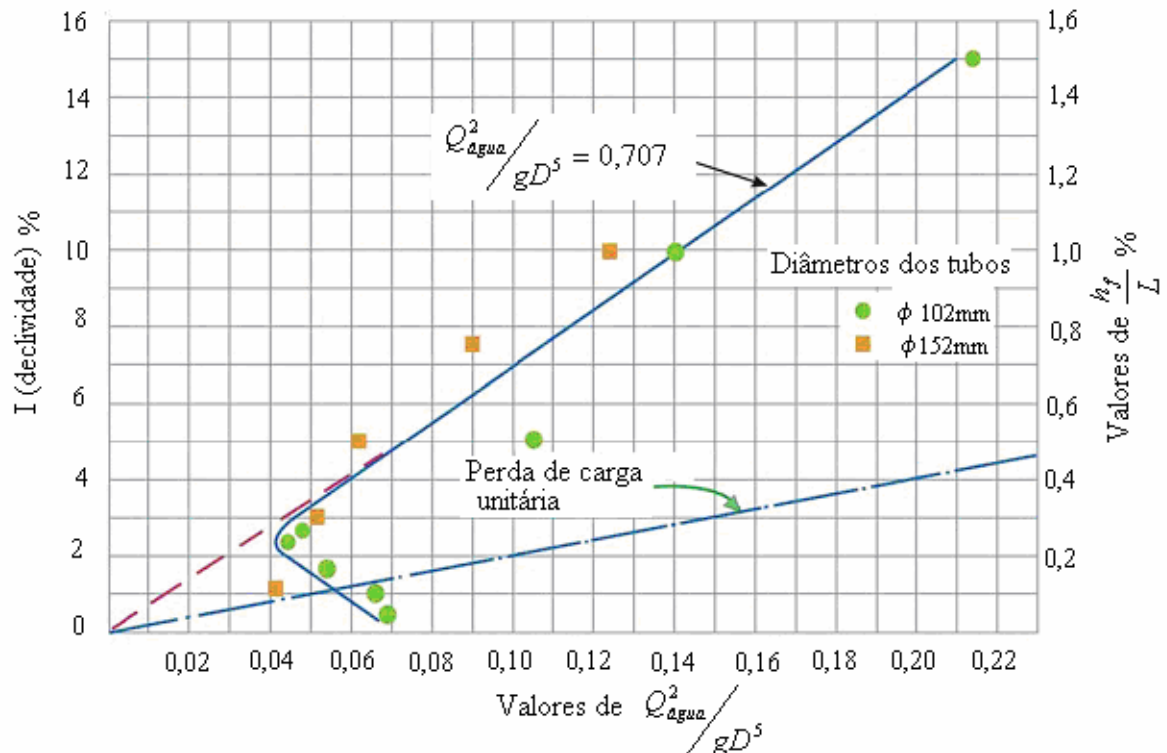


Figura 3.6- Relação entre: (a) declividade da tubulação, (b) diâmetro da tubulação, (c) vazão de água e o (d) gradiente hidráulico quando inicia-se a remoção de ar (Adaptado de Kalinske & Bliss, 1943).

Em que:

- D : Diâmetro do tubo(m);
- g : Aceleração da gravidade(m/s^2);
- h_f : Perda de carga unitária(mca);
- I : Declividade da tubulação(m/m);
- L : Comprimento da tubulação(m);
- $Q_{\text{água}}$: Vazão de água na tubulação(m^3/s);

Notou-se também que bolhas de ar menores puderam se mover mais facilmente do que as maiores. No entanto, as menores fundiram-se gradualmente em bolhas maiores das quais não conseguiam ser movidas, e essas escoaram subindo o tubo e passaram através do ressalto.

- Kalisnke & Robertson (1943) realizaram estudos para verificar a admissão de ar através de um ressalto hidráulico. Foi usado um tubo com diâmetro interno de 149mm, montado inclinado negativamente a jusante com as seguintes inclinações 0%, 0,2%, 2%, 5%, 10%, e 30% (ou 0°, 0,11°, 1,14°, 2,86°, 5,71°, 16,7°). As principais conclusões obtidas nesses ensaios estão resumidas a seguir:

- o ar admitido pelo ressalto hidráulico durante o escoamento forma um grande bolsão. Além disso, o ressalto se estende até o ponto onde o ar deixa a tubulação;

- para pequenos escoamentos de água, o bolsão de ar não se entende até o fim do tubo, sendo que periodicamente ocorre o fenômeno do retorno de ar através do ressalto (blow-back);

- foi estabelecida uma condição crítica, cuja relação é ilustrada pela Figura 3.7, acima da qual a taxa de remoção do ar irá depender da capacidade do ressalto hidráulico de admitir ar. Essa condição depende do numero de Froude a jusante do ressalto. Abaixo do valor crítico, a remoção de ar será controlada pelas condições hidráulicas do escoamento, e não pelo ressalto hidráulico propriamente dito;

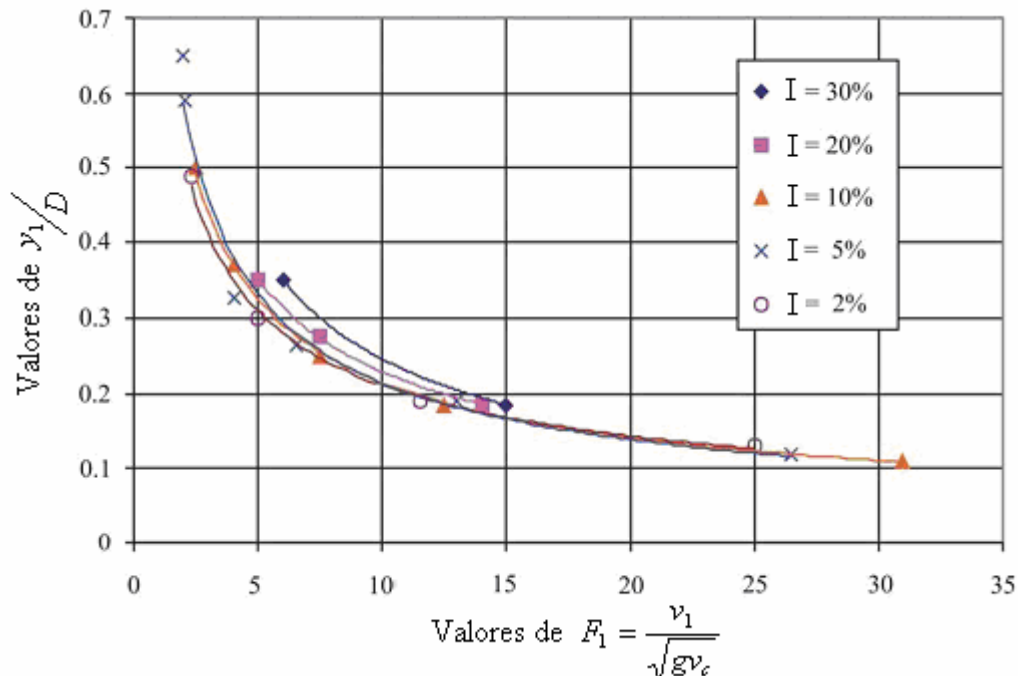


Figura 3.7- Valores experimentais para o número de Froude crítico a jusante do ressalto hidráulico (Adaptado de Kalinske & Robertson, 1943).

Em que:

- y_1 : Altura da lâmina d'água na tubulação(m)
- D : Diâmetro do tubo(m)
- g : Aceleração da gravidade(m/s²)
- F_1 : Número de Froude a montante do ressalto hidráulico(-)
- I : Declividade da tubulação(m/m)
- v_1 : Velocidade da água a montante do ressalto hidráulico(m/s)
- v_c : Velocidade crítica da água(m/s)

- a remoção do ar não será função das características do ressalto e sim das características hidráulicas do escoamento a jusante do ressalto.

- Kent (1952) estudou experimentalmente o escoamento de bolsões de ar e bolhas em tubos com inclinação negativa entre 15 a 75 graus, cujos diâmetros compreendidos entre 38mm e 102mm, sendo as principais conclusões enumeradas a seguir:

- existência de uma taxa mínima de remoção de ar, quando a velocidade média de escoamento da água é maior que uma certa velocidade mínima, cuja relação é ilustrada pela Figura 3.8:

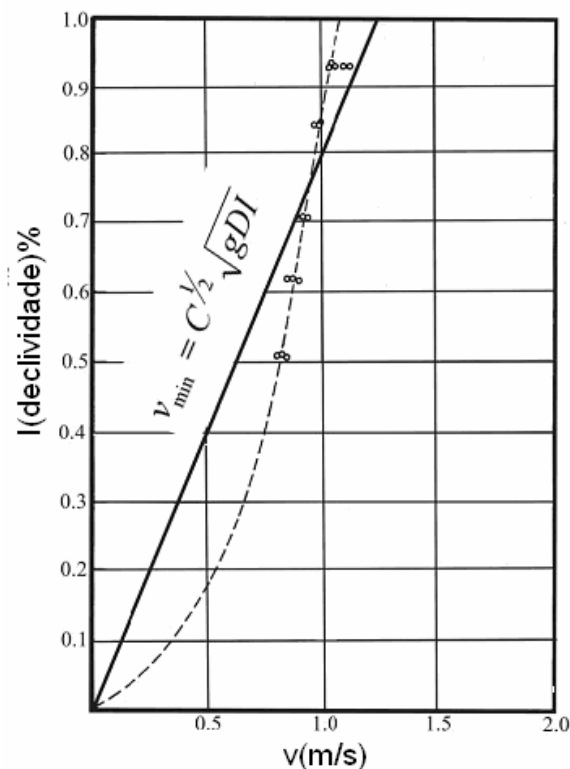


Figura 3.8- Velocidade mínima necessária para o transporte de bolhas em tubulações inclinadas negativamente (Adaptado de Kent, 1952).

Em que:

- C : Coeficiente adimensional obtido experimentalmente por Kent = 1,53(-)
 I : Declividade da tubulação(m/m)
 v : Velocidade da água a montante do ressalto hidráulico(m/s)

- os experimentos mostraram que entre os ângulos de 30 e 60 graus nenhuma mudança no fluxo foi necessária para manter as bolhas em equilíbrio. Para ângulos inferiores 15 e superiores a 75 graus, observou-se que a velocidade necessária para eliminação do ar deveria ser reduzida;

- a remoção do ar na parte superior de um tubo (onde seções de tubos de inclinações positivas e negativas se encontram) é similar à remoção de ar de uma seção reta.

- Wisner, Moshen & Kouwen (1975) sugerem que a remoção de bolsões de ar em um tubo pode acontecer dos seguintes modos: (1) varredura, *i.e.*, remoção de todo o bolsão de ar e, (2) geração e entrada *i.e.*, se houver um grande bolsão de ar, esse bolsão pode propiciar a formação de um ressalto hidráulico a jusante do escoamento. O termo "geração" refere-se ao processo pelo qual bolhas de ar são criadas a jusante do ressalto hidráulico. "Entrada" é um termo usado para descrever o movimento no interior do líquido dessas novas bolhas geradas a jusante.

- Falvey (1980) relata que "se o conduto é horizontal ou inclinado positivamente na direção do escoamento, então todo o ar admitido se moverá com o escoamento. Se o conduto se inclina negativamente na direção do escoamento, as bolhas de ar podem se mover tanto a jusante ou a montante". A bolha se moverá perpendicularmente ao eixo do tubo apenas quando o componente do vetor da força flutuante for igual ao componente da força de arraste. Quando as bolhas se movem a jusante em condutos inclinados, elas tendem a formar grandes bolsões de ar. A Figura 3.9 mostra a taxa de escoamento necessária para o transporte de bolhas e bolsões de ar em tubos inclinados de 0 a 44 graus.

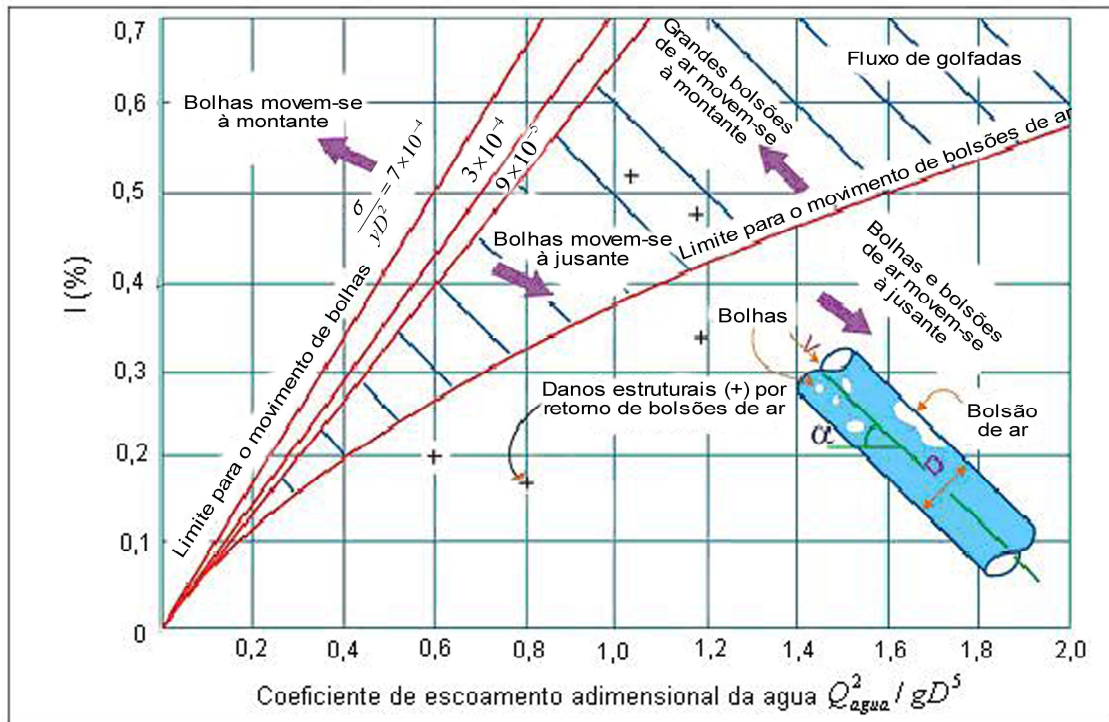


Figura 3.9- Taxas de escoamento necessárias para o transporte de bolhas e bolsões de ar em tubos de inclinação entre 0 e 44° (Adaptado de Falvey, 1980).

Em que:

- D : Diâmetro do tubo(m)
- g : Aceleração da gravidade(m/s^2)
- γ : Peso específico da água(kg/m^3)
- I : Declividade da tubulação(m/m)
- $Q_{água}$: Vazão da água(m^3/h)
- σ : Tensão superficial(kg/m)

- Salih (1980) observou os resultados de testes experimentais do movimento de bolhas em fluxo vertical acelerado. Ficou constatado que, quando uma bolha de gás é introduzida em um escoamento de líquido de gradiente de velocidade constante, esta irá em breve se mover à frente do escoamento do líquido e atingir um valor terminal para sua relação de variação de velocidade.
- Dewhirst (1991) realizou experimentos em duas séries a fim de verificar a capacidade do escoamento dos bolsões de ar. A primeira série verificou que os vários parâmetros considerados tinham uma influência na estabilidade do bolsão, enquanto que a segunda série examinou em detalhes os parâmetros considerados importantes para a previsão da velocidade

crítica para qualquer tubo. Nesses testes, um ressalto hidráulico formou-se no fim do escoamento a jusante dos bolsões de ar.

Os testes foram conduzidos usando dois tipos de diâmetros de tubo (74mm e 140mm), com a direção do escoamento sendo verticalmente para baixo. Testes foram efetuados de duas maneiras: uma seção de tubo reto e tubos com uma dobra no plano vertical.

Nas primeiras séries de testes descobriu-se que a pressão no tubo e o tamanho do bolsão de ar tinha pouco ou nenhum efeito significativo na velocidade crítica. A presença de uma dobra no tubo mostrou dar efeito à forma do bolsão de ar se movendo ao longo do tubo e este por sua vez afetou a velocidade crítica necessária para mover o bolsão. Nenhum efeito devido à tensão superficial foi notado nos testes, embora tenha sido importante em ensaios conduzidos anteriormente pelos autores citados.

Na segunda série de testes os seguintes resultados foram obtidos:

- à medida que o ângulo de inclinação aumentava para um dado comprimento de bolsão de ar, a perda de carga também aumentava. No entanto, para o mesmo comprimento de bolsão, a capacidade de admissão de ar pelo escoamento também aumenta com o aumento do ângulo de inclinação. Esse resultado implica que, embora exista uma grande perda de carga em inclinações mais íngremes para um dado tamanho de bolsão, este bolsão será eliminado muito mais rápido sendo incorporado ao escoamento;
- globalmente, concluiu-se que aparentam haver dois possíveis mecanismos para controlar a estabilidade do bolsão de ar em um fluxo de água em movimento. O mecanismo envolve um balanço entre a flutuabilidade do bolsão de ar e a força associada à perda de carga no ressalto hidráulico. O segundo mecanismo envolve o controle da estabilidade do bolsão de ar pelo formato da ponta do bolsão.
- Little (2002) promoveu uma revisão detalhada dos mecanismos do transporte de bolsões de ar em tubos. Ele revisou um amplo conjunto de estudos experimentais anteriores, chegando às seguintes conclusões:

- os dados publicados não são sempre consistentes uns com os outros ou com o histórico de casos. Pode haver diferenças devido aos procedimentos de teste, extração de dados, deduções usadas e variáveis que não são as diagramadas.
- os testes mostram que bolhas de ar serão transportadas mais prontamente do que bolsões de ar, mas tenderão a aglomerar-se em bolsões de ar na parte superior do tubo.
- sob típicas condições de operação, os bolsões de ar serão transportados a jusante em tubos com baixas inclinações, mas não serão transportados contra inclinações íngremes. Para um dado diâmetro e inclinação de tubo, existe uma taxa de escoamento crítica nos quais os bolsões de ar ficarão presos.

Dentre os trabalhos revisados, Little (2002) concluiu que o trabalho elaborado por Kent (1952) é o mais adequado para a determinação da velocidade crítica.

- Corcos (2003) estudou os problemas de abastecimento de água por mananciais em áreas rurais. Foi criado um método para avaliação e detecção de ar, que estabelece onde é maior a probabilidade destas ocorrências nestes sistemas, criando uma metodologia para o projeto de adutoras para abastecimento de reservatórios, por de gravidade à partir de mananciais de superfície.

Os resultados das pesquisas enumeradas apresentam equações que estabelecem uma velocidade crítica mínima na qual a água deve escoar para permitir a remoção e/ou deslocamento dos bolsões de ar para os pontos mais elevados, a fim de que sejam eliminados pelas ventosas. Alguns estudos abrangem também relação de variação de velocidade. A Tabela 3.1 enumera as equações resultantes dos estudos que determinam a remoção hidráulica do ar em tubulações.

Tabela 3.1- Equações relacionadas à remoção de ar nas tubulações que contêm água

Autor	Equação	Finalidade
Kalinske & Bliss (1943)	$\frac{V_c}{\sqrt{(gD)}} = 1,509 \times \sqrt{\tan \theta}$	Determinação da velocidade critica
Kalinske & Robertson (1943)	$\frac{Q_{ar}}{Q_{agua}} = 0,0066(Fr - 1)^{1,4}$	Cálculo da vazão de ar admitido através do ressalto hidráulico.
Kent (1952)	$\frac{V_c}{\sqrt{(gD)}} = C_o^{1/2} \sqrt{\sin \theta}$ $n = \frac{4V_b}{\pi D^3}$	Cálculo da velocidade critica em tubulações inclinadas negativamente a jusante. Cálculo do tamanho dos bolsões de ar.
Wisner, Moshen & Kouven (1975)	$n = \frac{\nabla}{\left(\frac{\pi}{4D^3}\right)}$ $\frac{V_c}{\sqrt{gD}} = 0,25\sqrt{\sin \theta} + 0,825$	Cálculo do tamanho dos bolsões de ar. Cálculo da velocidade critica em tubulações inclinadas negativamente a jusante.
Corcos (2003)	$\frac{V_c}{\sqrt{gD}} = 0,484$ $\frac{V_s}{\sqrt{gD}} = 0,638$	Vc velocidade crítica de escoamento necessária para mover bolsões de ar em adutoras horizontais. Vs velocidade necessária para mover bolsões de ar estacionários em seções inclinadas de adutoras

Em que:

- C_o : Coeficiente adimensional obtido experimentalmente por Kent = 1,53(-)
 D : Diâmetro do tubo(m)
 Fr : Número de Froude(-)
 g : Aceleração da gravidade(m/s²)
 ∇ : Tamanho do bolsão de ar(m)
 V_b : Volume do bolsão de ar(m³)
 $Q_{água}$: Vazão de água(m³/h)
 Q_{ar} : Vazão de ar(m³/h)
 U_b : Velocidade da bolha de ar(m/s)
 U_f : Velocidade do fluido(m/s)
 θ : Ângulo que a tubulação forma com a horizontal(graus)
 V_c : Velocidade crítica(m/s)
 V_s : Velocidade crítica para mover bolsões de ar em tubulações inclinadas(m/s)

Além dos autores citados, diversos fabricantes têm desenvolvido softwares e publicado artigos que abordam os problemas de ocorrência de ar na água.

No Brasil, só recentemente o assunto tem despertado a atenção dos técnicos. A principal razão para isso, foi a polêmica gerada em torno do volume de ar medido pelo hidrômetro e pago como se fosse água. Por isso, a maioria das pesquisas relacionadas abaixo foi encomendada pelos serviços de saneamento e está relacionada aos equipamento denominado “eliminador de ar”.

- Mello e Farias (2001) submeteram dois tipos de eliminadores à avaliação no DMAE de Porto Alegre, de diferentes fabricantes, sendo um com o corpo em bronze e o outro, em poliestireno. Os testes foram conduzidos de maneira a reproduzir uma pequena rede de distribuição em laboratório, além de testes de campo, em áreas que apresentavam deficiência no abastecimento de água. Os testes de campo iniciaram-se em maio de 1998, sendo que o tempo mínimo de avaliação para cada aparelho foi de 12 meses. A montagem de campo consistia na instalação dos aparelhos eliminadores de ar montados entre dois hidrômetros, previamente aferidos de acordo com a Portaria 246/2000 do INMETRO. Ambos aparelhos apresentaram baixa eficiência e em alguns casos o valor registrado no segundo hidrômetro foi superior ao primeiro hidrômetro causando prejuízo aos consumidores. Segundo os autores, havia também a possibilidade de contaminação do sistema pelo aparelho. Os testes de laboratório foram efetuados utilizando-se de uma mini-rede de distribuição de água, abastecida por uma bomba que succionava a água de um reservatório inferior e recalrava para um reservatório que possui desnível geométrico de 18m em relação ao reservatório inferior. Foram instalados 8 ramais prediais, cada um possuindo uma cota específica, ligados à rede principal em PVC, com diâmetro 100mm. Compunham ainda o sistema: uma ventosa simples, um controlador de velocidade de fluxo, uma válvula que permitia simular a “ponta morta” da rede, além de pontos de tomada de pressão e vazão. Foram efetuados testes em duas situações distintas: uma com todos os pontos de consumo abertos, sem nenhum dispositivo controlador de ar no trecho, e outra, utilizando-se a tubulação de chegada no reservatório superior como chaminé de equilíbrio, para permitir a entrada e saída de ar no sistema. Foi considerado um consumo de 18m³/mês por residência, média histórica do DMAE de Porto Alegre.

Em ambas as situações, foi analisado o ponto mais próximo do reservatório elevado (ponto mais desfavorável operacionalmente). Supondo uma situação hipotética de uma interrupção diária durante um mês para a situação “A”, haveria um acréscimo de 6.780 litros, equivalente a +37,6% da média histórica da residência. Para a situação “B”, mantidas as mesmas premissas de consumo médio e de 30 interrupções durante um mês, ter-se-ia um acréscimo de 780 litros, ou seja, 4,3% para um consumo médio histórico de 18m³/mês. Analisando os dados dos ensaios efetuados em laboratório, os autores concluíram que os efeitos do ar na medição é proporcional à velocidade de enchimento e esvaziamento das redes apesar de não ter sido possível estabelecer um coeficiente de proporcionalidade devido à escassez de dados obtidos. Os autores destacam que na hipótese de faltas d’água diárias, os ramais comprometidos são facilmente identificados pelas áreas técnica e comercial.

- Leal e Teixeira (2001) abordam o assunto baseado na antiga polêmica entre consumidores e concessionárias do serviço de distribuição de água. Citam pesquisas realizadas em que os aparelhos eliminadores de ar foram instalados entre dois hidrômetros. A pesquisa realizada por Mello e Farias (2001) constatou uma variação de consumo registrado no segundo hidrômetro em uma faixa que varia de -8,3% a +6,1% em relação ao consumo no hidrômetro de montante. Os autores recomendam a troca de tubulações com incrustações, substituição de redes que possuam diâmetro insuficiente, investimento em pesquisas operacionais que visem a melhoria e solucionem o problema de presença de ar nas tubulações, ampliação da capacidade de reservação, re-estudo da localização das ventosas, adoção de medidas compensatórias em que as concessionárias do serviço de distribuição de água criariam medidas compensatórias apuradas anualmente, visando a corrigir eventuais distorções nas medições do consumo de água em lugares onde comprovadamente ocorressem problemas de ar nas medições de consumo.

- Leal e Teixeira (2004) realizaram em Juiz de Fora, Minas Gerais, estudo com a finalidade de avaliar a eficácia do aparelho eliminador de ar em ligações prediais. Foi verificada também a possibilidade de contaminação da rede através do aparelho eliminador de ar. Os testes de campo foram conduzidos por um período de 11 meses, entre 28 de junho de 2002 e 27 de junho de 2003.

A metodologia consistiu em avaliar, por meio de testes de campo, o comportamento do aparelho eliminador de ar em ligações prediais, bem como a sua influência na medição do consumo de água numa ligação predial. Para tanto, foram montados aparatos experimentais ilustrados pela Figura 3.10, instalados em série, a jusante da estrutura de medição existente.

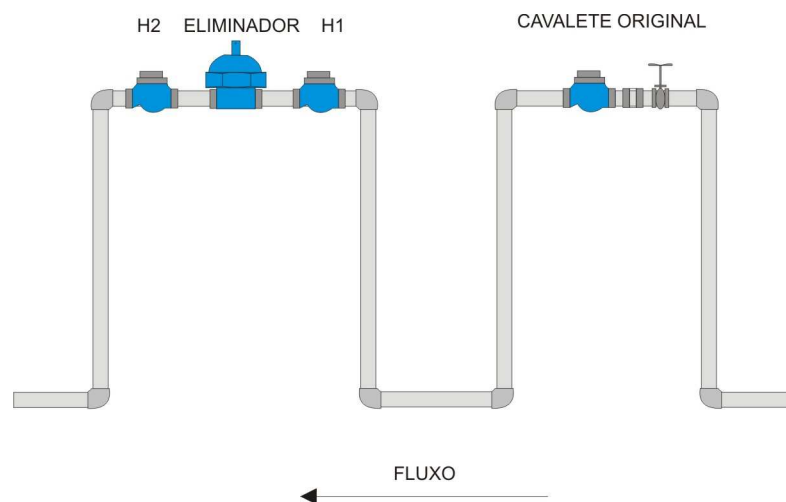


Figura 3.10- Esquema de montagem do cavalete no ponto de coleta de dados (Leal e Teixeira, 2004).

A instalação dos cavaletes obedeceu os critérios amostrais pré-definidos entre os pesquisadores e a concessionária do serviço de abastecimento de água local. O critério adotado estabeleceu como amostra 10 pontos previamente selecionados e que representassem a diversidade operacional da cidade de Juiz de Fora, tais como: regiões periféricas simulando final de rede, cotas topográficas elevadas representando situação de intermitência e na área central representando situação de abastecimento pleno.

As leituras foram efetuadas semanalmente sob responsabilidade do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Faculdade de Engenharia da Universidade de Juiz de Fora. A periodicidade proposta procurou estabelecer um confronto rápido e preciso entre os volumes registrados pelos hidrômetros e o tipo de operação do sistema de distribuição na região.

Os pontos selecionados são enumerados pela Tabela 3.2 a seguir:

Tabela 3.2- Características dos pontos de coleta de dados (Adaptado de Leal e Teixeira, 2004)

Tipo	Local de instalação (condições de abastecimento)	Nº de pontos selecionados
1	Intermitência	1
2	Fim de rede-intermitência	1
3	Cota tipográfica elevada-intermitência	1
4	Cota tipográfica elevada-intermitência	1
5	Fim de rede-intermitência	1
6	Intermitência	1
7	Intermitência provável	1
8	Abastecimento contínuo	1

Foram realizados testes de significância estatística, utilizando-se a distribuição *t* de Student, bilateral, com intervalo de confiança de 95%. Diversos problemas foram relatados, sendo o principal, a falta de estanqueidade. Em um ponto, foi constatado *in loco*, a falta de registro de consumo no hidrômetro H₁.

A ultima etapa dos testes consistiu na verificação de estanqueidade dos aparelhos eliminadores. Os aparelhos usados foram obtidos por meio da desmontagem dos aparatos experimentais utilizados nos testes de campo. Os testes foram conduzidos no laboratório Sanear Engenharia Ambiental em Belo Horizonte- MG, nos dias 21 de agosto e 1 de setembro de 2003. A montagem do aparato experimental consistiu na montagem de tubos plásticos transparentes de 1 ½” na parte superior do aparelho, onde estão situados os orifícios de eliminação de ar, com a finalidade de isolar estes orifícios do corpo externo do aparelho e , na extremidade de montante (entrada) a uma bomba de vácuo com capacidade máxima de 760mm de Hg.

Após o acoplamento dos dispositivos à bomba de vácuo, os tubos transparentes que isolavam o aparelho eliminador de ar foram preenchidos com água, sendo registrado o nível de água resultante. O teste consistiu em três etapas distintas, com duração de um minuto, no qual se verificava o decaimento do nível de água no interior do tubo transparente. As etapas do teste são descritas a seguir:

- o nível do tubo era observado durante o intervalo de tempo de um minuto com a bomba de vácuo desligada. Essa situação simulava a possibilidade de contaminação através do aparelho eliminador de ar em período de desabastecimento sem que houvesse pressões negativas na rede de distribuição, com a bóia do reservatório domiciliar na posição aberta;

- em seguida, era ligada a bomba de vácuo e fazia-se a observação por um minuto, deixando a extremidade de jusante (saída) do aparelho eliminador de ar aberta. Esta etapa simulava a possibilidade de contaminação da rede de abastecimento através do eliminador de ar, com pressões negativas na rede de abastecimento, estando a bóia do reservatório domiciliar na posição aberta;

- a terceira e última etapa, ainda com a bomba de vácuo ligada, fechava-se a extremidade de jusante com a finalidade de simular a possibilidade de contaminação da rede de abastecimento através do eliminador de ar, com pressões negativas na rede de abastecimento, estando a bóia do reservatório domiciliar na posição fechada.

A coleta de dados dos testes mostrou que 91% dos aparelhos testados apresentaram possibilidade de contaminação da rede de abastecimento de água. Além disso, os testes demonstraram que os aparelhos eliminadores de ar não apresentam uma eficiência que justifique sua instalação. Os autores concluem que a solução do problema da existência de ar nas redes de abastecimento de água é um problema afeito às concessionárias do serviço de abastecimento público de água, sendo da competência das mesmas os estudos e investimentos necessários a solução dos problemas.

A COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA, 2004) realizou em fevereiro de 2004 um trabalho de campo para analisar a eficiência do “eliminador de ar” em situações de abastecimento e desabastecimento, além de verificar a estanqueidade dos aparelhos em áreas sujeitas a inundações.

Foram selecionados 10 domicílios onde seriam instalados os dispositivos de teste. Foi mantido o hidrômetro de faturamento em série com o dispositivo de teste que consistia em um eliminador de ar montado entre dois hidrômetros (Figura 3.11).

Na primeira etapa dos testes, foram efetuadas leituras diárias dos hidrômetros, aproximadamente no mesmo horário, obtendo-se o volume totalizado em cada hidrômetro no período.



Figura 3.11- Aparato de teste (COPASA, 2004)

Na segunda etapa, foi avaliado o desempenho dos eliminadores em situação de desabastecimento, na qual o registro de abastecimento da quadra era fechado. A partir de então, foram efetuadas leituras dos registros do aparato experimental com intervalo de tempo de dois minutos, tendo sido registrados: o momento da efetiva paralisação do abastecimento, o momento da inversão do sentido usual de rotação dos hidrômetros e o momento do retorno do abastecimento.

Na última etapa do teste, foi verificada a estanqueidade do aparelho quando instalado em áreas sujeitas a inundação. A simulação foi efetuada, conectando-se um cavalete dotado de um eliminador de ar abastecido por um reservatório apoiado. O cavalete foi submerso dentro de um recipiente contendo uma solução de permanganato de potássio, sob uma lâmina de 10cm da solução. O recipiente onde estava submerso o cavalete, foi ligado a montante a um reservatório de abastecimento e, a jusante, a um recipiente situado 12 m abaixo do recipiente contendo a solução de permanganato de potássio como garantia de escoamento da mesma. O teste foi realizado com o fechamento do registro situado a montante do cavalete submerso. Após um período de 20 minutos, verificou-se o escoamento da solução de permanganato de potássio, confirmando-se a possibilidade de contaminação.

Foi constatado que para abastecimento contínuo, não se justifica o emprego dos eliminadores de ar. Verificou-se também que em situações de desabastecimento, não houve influência do eliminador de ar nos volumes registrados pelo hidrômetro.

- A CAESB - Companhia de Água e Esgoto de Brasília (CAESB, 2005) realizou testes de campo com a finalidade de efetuar a certificação técnica e verificar a eficiência dos equipamentos eliminadores de ar. Os testes foram conduzidos durante um período de noventa dias ininterruptos, compreendidos entre 16/05/2005 e 13/09/2005. A finalidade dos testes objetivava cumprir uma obrigação legal estabelecida pela Lei 3.557/2000, Art. 2º, do Distrito Federal. Foi formado um grupo de trabalho que definiu que seriam testados dois aparelhos de $\frac{3}{4}$ " e um de 2", instalados em pontos de consumo previamente definidos. As válvulas eliminadoras de ar foram montadas em três cavaletes conforme ilustrados pela Figura 3.12.



Figura 3.12- Aparato de testes utilizado pela CAESB (CAESB, 2005).

Os testes efetuados foram divididos em três etapas. Na primeira etapa, com duração de 30 dias, a leitura dos hidrômetros seria efetuada diariamente. A segunda etapa faria leituras em uma situação em que houvesse desabastecimento. A terceira e última etapa, verificaria a estanqueidade e a possibilidade do aparelho permitir a contaminação da rede de abastecimento.

Na primeira e segunda etapas dos testes, as variações de leitura não ultrapassaram 2,5%, o que levou a CAESB a considerar o aparelho ineficiente. A decisão foi baseada na NBR 8194 que permite variação nas medições de consumo de 5% para mais ou para menos. A terceira etapa dos testes comprovou que a válvula eliminadora de ar não possui estanqueidade, por permitir a entrada de líquidos e elementos externos, possibilitando a contaminação da rede de abastecimento de água;

- Souza *et al* (2006) realizaram na cidade de Campo Grande Mato Grosso do Sul, estudos com a finalidade de avaliar a influência do aparelho eliminador de ar na medição do consumo de água na rede de distribuição.

A metodologia, consistiu em avaliar, por meio de testes de campo, o comportamento do aparelho eliminador de ar em ligações prediais, bem como a sua influência na medição do consumo de água numa rede de distribuição. A exemplo dos procedimentos efetuados pela COPASA e pela CAESB, foram montados 25 cavaletes compostos de dois hidrômetros taqueométricos, previamente aferidos, separados por um aparelho eliminador de ar (Figura 3.13).



Figura 3.13- Cavalete especial montado para verificação da influência do eliminador de ar na medição do consumo de água na rede de distribuição (Souza *et al*, 2006).

A instalação dos cavaletes obedeceu os critérios amostrais pré-definidos entre os pesquisadores e a concessionária do serviço de abastecimento local e estão enumerados pela Tabela 3.3 a seguir:

Tabela 3.3- Condições de instalação (Souza *et al*, 2006).

Tipo	Local de instalação (condições de abastecimento)	Nº de pontos selecionados
1	Alta pressão e vazamento	6
2	Baixa pressão e falta d'água	8
3	Vazamento e falta d'água	6
4	Condição normal	5

Foram realizadas leituras durante 30 dias consecutivos para apurar o consumo registrado pelos hidrômetros e a influência do dispositivo eliminador nos volumes totalizados. Além das condições pré-estabelecidas, foram efetuadas, semanalmente, simulações de situações de desabastecimento de acordo com o cronograma proposto pelos pesquisadores e a concessionária local. As simulações foram efetuadas sempre das 16:00 às 22:00 horas, horários de fechamento e abertura dos registro, sendo que, o comportamento do eliminador de ar e sua influência na medição dos consumos, verificada em intervalos de tempo de aproximadamente seis horas, a partir do fechamento do registro.

Aplicou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar a normalidade dos dados, além do teste t de Student para a verificação das condições de aceitação da hipótese. Concluiu-se que não há diferença significativa entre a totalização dos hidrômetros, permitindo concluir que o aparelho eliminador de ar não influi significativamente na medição de consumo de água. Não foram efetuados testes com objetivo de verificar a possibilidade de contaminação ocasionada pelos aparelhos testados.

Além das pesquisas enumeradas anteriormente, manifestos de entidades de classe e instruções técnicas das concessionárias têm sido disponibilizados nos sites, entre os quais se destacam: AESBE, ABCON e ASSEMAE, acesso em 31/06/06, disponível em www.aesbe.com.br; Citágua, concessionária do serviço em Cachoeira do Itapemirim, acesso em 31/06/2006, disponível em www.citagua.com.br; CEDAE, Companhia de Saneamento do Estado do Rio de Janeiro, acesso em 01/12/2005, disponível em www.cedae.rj.gov.br; SABESP, Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo, acesso em 01/12/2005, disponível em

www.sabesp.com.br; SAAE de Jacareí-SP, Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Jacareí, acesso em 01/12/2005, disponível em www.saaejacarei.com.br.

3.5 Ar: principais problemas

O conjunto de publicações e informações disponíveis, bem como discussões efetuadas por diversos especialistas, enumeram os problemas listados abaixo, como sendo os principais que o ar ocasiona dentro de tubulações:

- a seção transversal efetiva do tubo é reduzida pelos bolsões de ar, resultando numa diminuição da capacidade de escoamento do tubo;
- a maior parte das propriedades do fluido mudam, principalmente a densidade e a elasticidade, em razão da mistura de ar e água;
- bolhas de ar introduzem momento vertical no escoamento devido à sua flutuabilidade e pode dessa forma causar efeitos significativos no campo de escoamento;
- em transientes hidráulicos, a presença de grandes bolsões de ar resultam em ondas de pressão que são fortemente oscilatórias e deformadas. No entanto, descobriu-se também que pequenos acúmulos de ar podem ter um efeito adverso nas pressões transientes, na realidade, melhorando as ondas de pressão;
- o acúmulo de ar em um sistema pode levar à interrupção do escoamento e efeitos como transporte de bolsões em ambos os sentidos do escoamento. Por exemplo: o ar acumulado em um ressalto hidráulico pode não ser capaz de se mover para jusante, e ao invés disso, cria um movimento contrário ao escoamento através do ressalto. Isso pode levar à vibração e danos estruturais, além de causar instabilidades da superfície da água;
- em tubulações de ferro fundido, a presença de ar aumenta a corrosão por permitir mais oxigênio disponível para o processo;
- uma transição de escoamento em tubo parcialmente cheio a cheio pode causar vibrações da estrutura sendo que, ondulações no escoamento podem acompanhá-la;
- o ar pode causar leituras falsas em aparelhos de medição.

3.6 *Remoção mecânica*

No início do século XX, os engenheiros ainda não compreendiam bem o comportamento do ar dentro dos condutos de água. No início, optaram pela instalação de piezômetros, acreditando que grandes quantidades de ar poderiam ser expulsas por eles. Constatou-se então que, o piezômetro é uma solução que deve ser usada, só se a linha de gradiente hidráulico não está situada muito acima do nível do solo. A conexão entre o conduto e o piezômetro é efetuada através de uma válvula manual, controlando assim, a maneira como o ar é descarregado para a atmosfera.

Além dos piezômetros, uma das primeiras soluções adotadas foi a utilização dos hidrantes de prevenção a incêndio instalados nas redes de distribuição e adutoras. Trata-se de uma solução de baixa eficiência, uma vez que uma parcela significativa de ar acumula-se nos pontos altos das redes de distribuição e adutoras e nem sempre os hidrantes estão instalados nestes pontos. Uma outra solução possível é instalar uma válvula globo ou de gaveta nos pontos altos que, operadas manualmente, expulsam o ar. Em grandes sistemas, é impossível prever quando essas válvulas deverão ser abertas para expulsar o ar, além de não dotar os sistemas de proteção eficiente quando da ocorrência de vácuo e nem permitir a continua expulsão do ar durante a operação das redes.

As válvulas de ar são os dispositivos mais comumente utilizados para eliminar o ar admitido durante as operações de enchimento das tubulações ou admitir grandes quantidades de ar durante o esvaziamento das tubulações. O mau funcionamento das válvulas de ar pode ocasionar o acúmulo de ar em pontos onde as válvulas de ar não atuam com eficiência. Para isso, o dimensionamento correto e o local apropriado de instalação da válvula de ar ao longo do trajeto das tubulações são muito importantes, porque permitem com que as válvulas continuem trabalhando durante a ocorrência de transientes hidráulicos. Assim evitam-se problemas de separação de coluna de líquido e o aparecimento de golpe de aríete, que podem levar ao colapso por ocorrência de vácuo e a ruptura dos condutos.

Balutto (1996) descreve que entre os principais problemas que ocorrem nas tubulações, está o mau funcionamento de válvulas de ar. A operação ineficiente de válvulas de ar pode reduzir o escoamento em mais de 30% e contribuir para o aumento do consumo de energia, uma vez

que as bombas necessitam vencer as pressões cavitantes produzidas com o aparecimento de transientes hidráulicos.

A Figura 3.14 ilustra: (a) a ocorrência de colapso de uma adutora ocorrida na Índia devido a problemas ocasionados por vácuo e (b) a ruptura de uma adutora ocorrida na cidade de New York, devido ao mau funcionamento de válvulas de ar.



a)



b)

Figura 3.14- Danos ocasionados em condutos por mau funcionamento de válvulas de ar.
(Adaptado de ARI Valves, 2006)

Estima-se que o custo de consertar rupturas de tubulações no Canadá exceda 100 milhões de dólares anualmente. Baseadas nas investigações, Balutto (1996) concluiu que as causas destas rupturas são originadas pela presença de ar e o uso de válvulas de ar convencionais, como causas primárias ou como causas secundárias como fatores contribuintes.

Tipos de válvulas de ar

Atualmente, um grande número de válvulas de ar é utilizado em todo o mundo. A operação destas válvulas é automática, admitindo ou expulsando ar sem a necessidade de interferência externa. Grandes fabricantes oferecem diferentes configurações e desenhos que cobrem uma vasta gama de aplicações.

As informações sobre tipos de válvula, local de instalação, performance e tamanhos são baseadas em informativos publicados por fabricantes como Vent-O-Mat, Val-Matic, APCO e ARI Valves. A AWWA (*American Water Works Association*, 2001) também possui normas que orientam a instalação das válvulas de ar.

Normalmente as válvulas de ar automáticas são divididas em três tipos:

- Válvulas de vácuo ou de admissão de ar com um único orifício grande;
- Válvulas eliminadoras de ar com um único orifício pequeno ou ventosa simples;
- Válvulas de ar combinadas, de duplo orifício ou ventosa de tríplice função;

Válvulas de vácuo ou de admissão de ar com um único orifício grande

As válvulas de vácuo possuem como característica principal, a capacidade de admitir grandes quantidades de ar com a finalidade de prevenir a ocorrência de danos nas tubulações, como separação de coluna de líquido ou vácuo.

Durante a partida de um sistema de bombeamento, esvaziamento do sistema ou separação de coluna de líquido, o flutuador desce, permitindo a entrada de ar nas tubulações com a finalidade de prevenir ondas de pressão e outros fenômenos destrutivos, evitando assim, que a tubulação entre em colapso ou sofra ruptura (Figura 3.15).

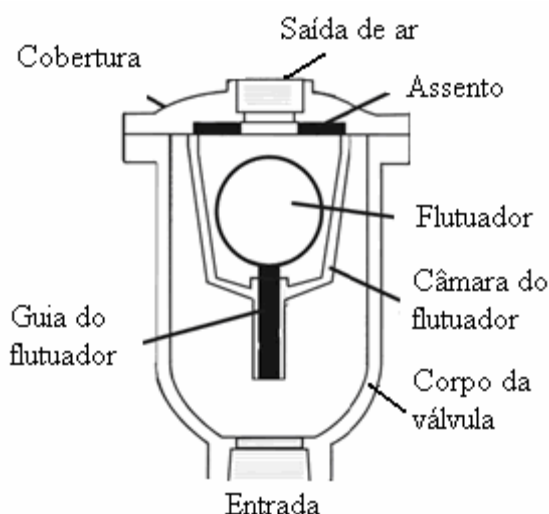


Figura 3.15- Válvula de vácuo (Adaptado de VENT-O-MAT, 2006).

Falvey (1980) nota que um “orifício grande” refere-se a diâmetros maiores que 25mm. Esse tipo de válvula de ar é projetada para permanecer fechada depois que o tubo é preenchido pela água, não permitindo assim, a liberação de pequenas quantidades de ar durante a operação do sistema de abastecimento de água. Essas válvulas se abrirão imediatamente quando a pressão do tubo cair abaixo da atmosférica. A pesquisa também sugere que a velocidade de ar

descarregado por uma válvula de ar não deve exceder 30m/s, a fim de se prevenir o enclausuramento do ar, um fenômeno frequentemente referido como “fechamento dinâmico”.

A velocidade de descarga do ar é função da pressão concentrada no ponto central do orifício da válvula. O critério de escolha da capacidade da válvula a ser instalada é muito importante, porque o tamanho da válvula controla a pressão diferencial com que o ar é expulso.

Válvulas eliminadoras de ar com um único orifício pequeno ou ventosa simples

A ventosa simples caracteriza-se por possuir um pequeno orifício que possui grande precisão, destinado a expulsar os bolsões de ar que se formam nos pontos altos das redes de abastecimento em operação. A ventosa simples possui um flutuador hidromecânico projetado para sentir a presença de ar e abrir o orifício sob a ação da pressão da rede de abastecimento. Durante a operação do sistema de abastecimento, pequenas partículas de ar desprendem-se da água e entram na válvula (Figura 3.16). Cada partícula de ar desloca o mesmo volume de líquido dentro da válvula reduzindo seu volume, fazendo com que o flutuador desça, desobstruindo o orifício de saída, permitindo assim, que o ar seja expulso da rede de abastecimento. Quando todo o ar sai de dentro da válvula, o nível de líquido sobe e o flutuador veda o orifício de saída.

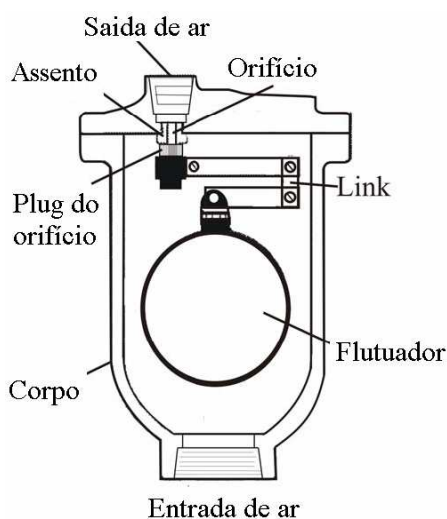


Figura 3.16- Ventosa simples (ARI-Valves, 2006).

Este ciclo repete-se continuamente enquanto houver presença de ar na válvula. A ventosa simples possui uma capacidade limitada para a proteção de vácuo e não é recomendada para expulsar grandes quantidades de ar das redes de grande diâmetro, uma vez que o diâmetro de seu orifício mede menos de 12,7mm. De maneira geral, sua capacidade de expulsão de ar varia de 13 a 80l/s. Para este propósito, válvulas de ar combinadas ou ventosa de tríplice função são recomendadas.

Válvulas eliminadoras de ar com dois orifícios ou ventosa de tríplice função

As válvulas de ar combinadas ou de duplo orifício, também são denominadas de ventosas de tríplice função. As principais funções das ventosas de tríplice função são: expelir o ar deslocado pela água durante o enchimento de redes e adutoras, admitir ar durante o esvaziamento das redes e, expelir o ar continuamente durante a operação de redes e adutoras (Barbará, 1998).

Uma ventosa de tríplice função constitui-se de duas câmaras: uma com um orifício “A” bastante grande que permite o escoamento de grandes vazões de ar e trabalha com altas pressões, e outro, com um pequeno orifício “B” que trabalha como uma ventosa simples, realizando a eliminação de ar formado durante a operação das bombas (Figura 3.17).

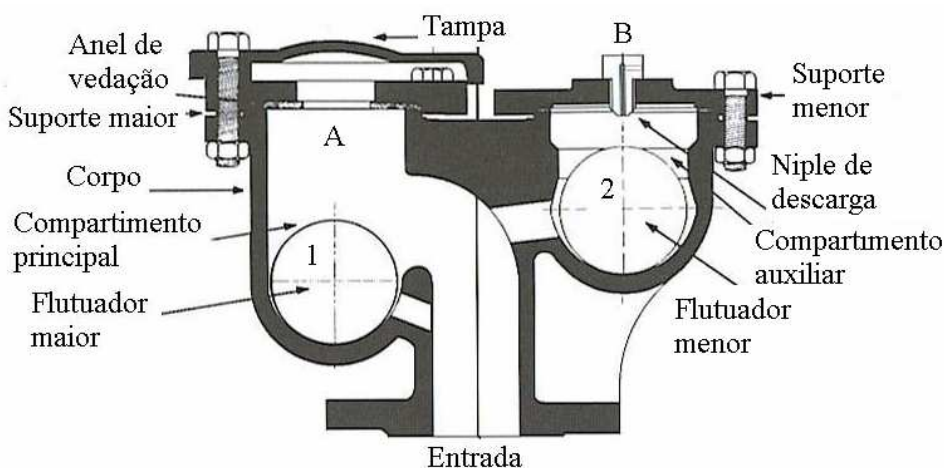


Figura 3.17- Ventosa de tríplice função (Bárbara, 1998).

Funcionamento: durante o enchimento da tubulação, o volume de água cresce lentamente. O ar escapa pelo orifício “A” com um volume equivalente à quantidade de água que entra na tubulação. Já durante o esvaziamento ou ocorrência de uma depressão na tubulação, o flutuador 1 desce sob ação do próprio peso, liberando a entrada de ar pelo orifício “A”. Para o

caso de sistemas de bombeamento, o ar que se acumula na tubulação é eliminado pelo orifício “B”, como em uma ventosa simples. (Barbará, 1998).

Apesar de sua larga utilização, não houve grandes mudanças no projeto de ventosas de tríplice função nos últimos 100 anos.

Existem diversos problemas relacionados a operação das ventosas, entre os quais se destacam:

- vedação insuficiente a baixas pressões: para que se produza uma vedação perfeita junto ao anel elástico localizado ao redor da circunferência do orifício, as dimensões da esfera devem ser perfeitas. Isso é difícil de alcançar na prática e como forma de compensação, anéis de assentamento macio são frequentemente usados. Esses podem aderir ao flutuador e prejudicar a operação do orifício.
- deformação e entupimento: a estrutura oca do tipo utilizado na esfera flutuante, as faz suscetíveis à distorção e deformações permanentes quando submetidas a altas pressões e choques de carregamento. Foi descoberto que na prática o flutuador pode se alongar e aderir ao orifício, impedindo-o de funcionar.
- fechamento prematuro: frequentemente referido como “fechamento dinâmico” e refere-se à tendência da válvula ser fechada pelo flutuador a uma pressão diferencial muito baixa sem quaisquer descargas posteriores. Testes de altas taxas de volume realizadas pelo CSIR (*Council for Scientific and Industrial Research*) na África do Sul, em um certo número de válvulas para remoção de ar comumente usadas, indicaram que, em muitas delas, existia a propensão ao fechamento dinâmico a pressões diferenciais baixas (3-5kPa). Isto estava bem abaixo do desempenho reivindicado pelos fabricantes, no qual na maioria dos casos, especificava uma pressão diferencial de 10kPa para ocorrência do fechamento dinâmico.
- limitação do tamanho do orifício e seu efeito no desempenho: a descarga de válvulas de remoção de ar é afetada pelo grande diâmetro do orifício. Alguns fabricantes afirmam que o diâmetro da esfera flutuante deve ser no mínimo três vezes o diâmetro do orifício, para não incorrer no risco de obstruí-lo. Por razões econômicas, isso resulta na escolha por parte do projetista de um orifício menor e, conseqüentemente, o desempenho de descarga é adversamente afetado.

Além dos problemas citados acima, válvulas projetadas para descarregar o ar a altas velocidades podem criar problemas para a operação das tubulações, incluindo:

- uma válvula de ar descarregando ar em altas pressões e velocidades diferenciais irá no fechamento produzir pressões transientes altas, sendo estas prejudiciais ao funcionamento das tubulações. O efeito na dinâmica do tubo é equivalente ao fechamento rápido de uma válvula de bloqueio.
- pode ocorrer derramamento de água (*spillage*) quando o flutuador do orifício grande falha em reagir a entrada da água em alta velocidade na câmara da válvula. Isso resulta no recobrimento do flutuador de controle, que permanece na parte inferior da câmara. A quantidade de água derramada pode ser substancial e inundar a câmara da válvula. Um efeito adicional do derramamento de água é a indução de uma onda de pressão no tubo.
- falha de vedação: essa é a falha do selo entre a válvula e o isolador no qual pode ocorrer o fechamento do orifício grande e resultar no derramamento de água. Isso é resultado das pressões transientes criadas nos fechamentos. Testes indicaram que este fenômeno ocorre a 8,0-8,5MPa, no qual implica que os transientes criados por válvulas descarregando ar a altas pressões diferenciais são excessivas a 8,5MPa.
- efeito Venturi: para todos os projetos de válvulas de ar com flutuadores esféricos, existe uma tendência do flutuador obstruir parcialmente o orifício durante a entrada de ar. Isto é devido à criação de uma zona de pressão mais baixa na parte superior do flutuador em relação a pressão observada no tubo.

Seleção e instalação de ventosas

A instalação de ventosas deve ser efetuada em locais que permitam a completa expulsão do ar do interior das canalizações. O perfil das canalizações deve ser projetado de forma a permitir o acúmulo do ar nos pontos altos. Uma forma prática de visualização dos locais de instalação das ventosas é ilustrado pela Figura 3.18.

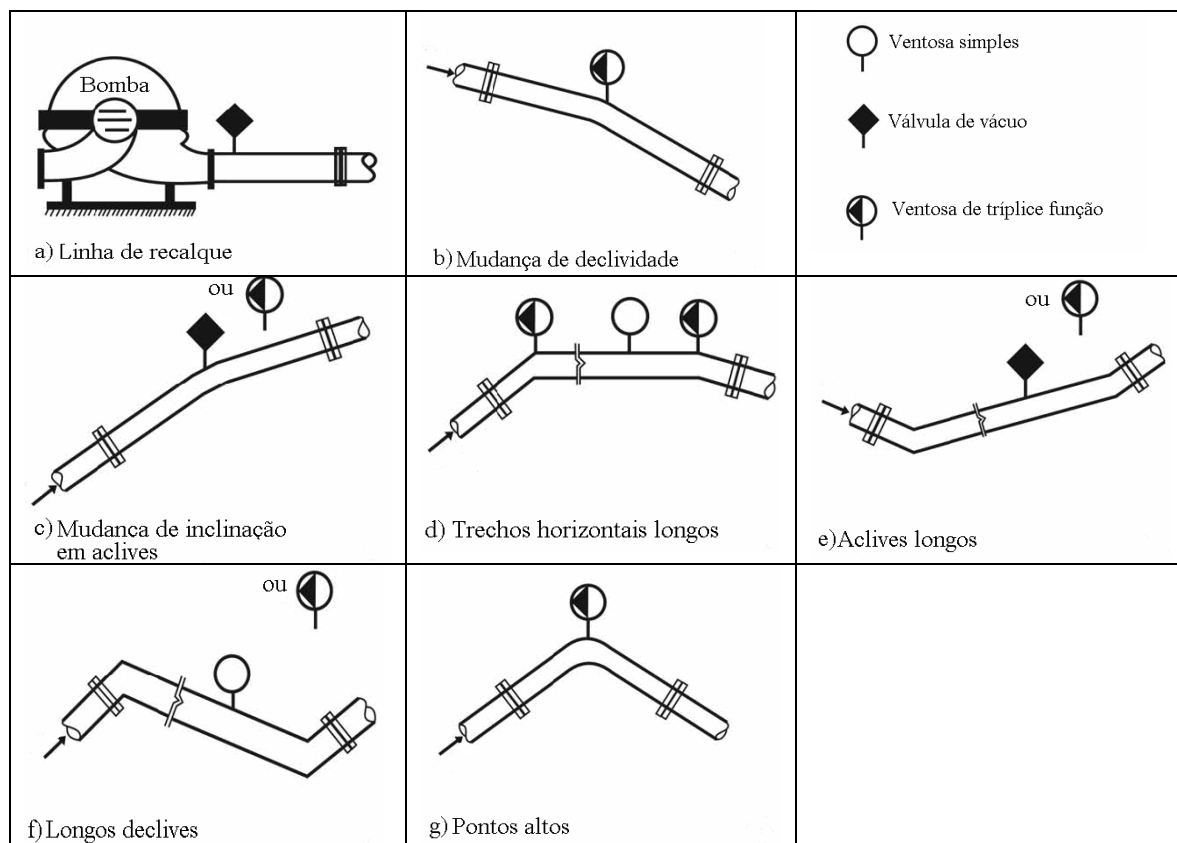


Figura 3.18- Locais recomendados para instalação de válvulas de ar nas tubulações.

A seleção da válvula a ser instalada deve ser efetuada a partir do conhecimento da vazão, adotando-se um valor de pressão diferencial entre o interior da ventosa e a atmosfera de 0,035MPa no momento do enchimento ou esvaziamento da canalização. O ábaco da Figura 3.19 facilita a seleção da ventosa a ser instalada.

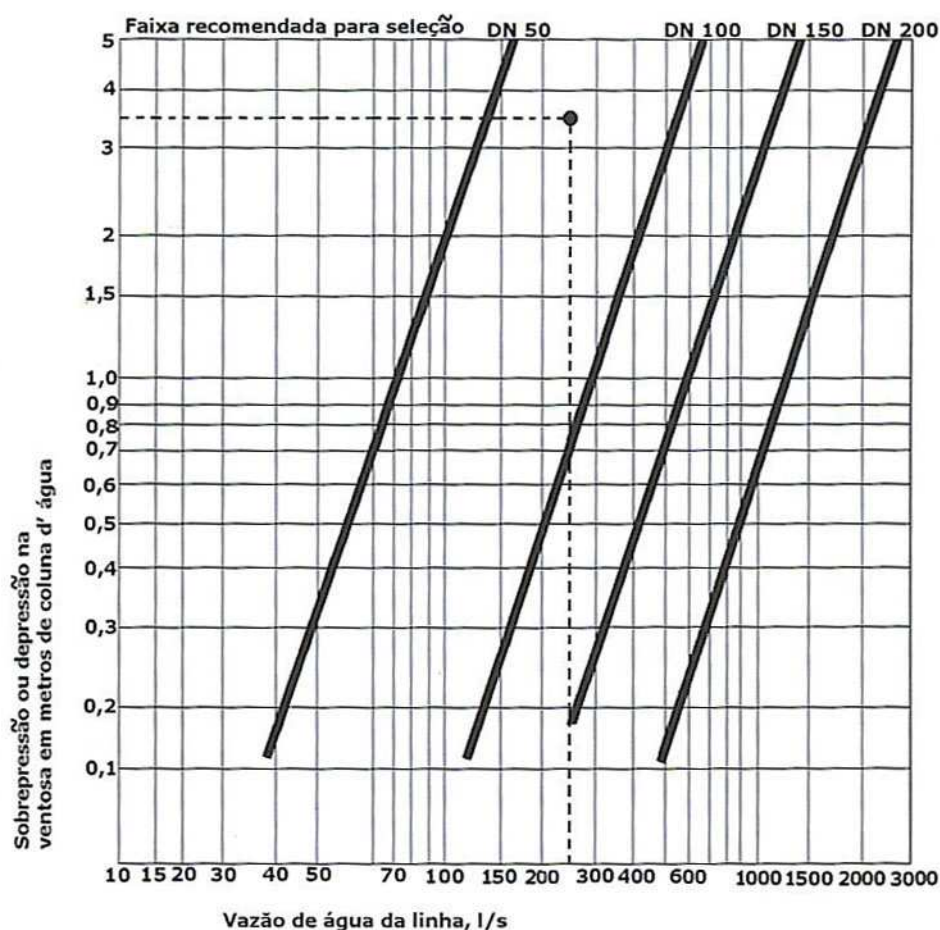


Figura 3.19- Ábaco para seleção de ventosas (Barbará, 1998)

Além do valor diferencial de pressão, Koelle (1986) *apud* Tsutiya (2005) recomenda que a ventosa deve ser dimensionada para a vazão lenta de enchimento da rede de abastecimento, com velocidade da ordem de 0,30m/s. A vazão de entrada da água deve ser igual à velocidade de saída do ar através da ventosa. A instalação incorreta de ventosas pode ocasionar o transporte de bolhas e bolsões de ar até as ligações prediais.

Válvula eliminadora de ar

Além das ventosas, o ano de 1991 marca o registro da patente do aparelho eliminador de ar, para ser instalado antes do hidrômetro na estrutura de medição. Trata-se de uma válvula, cujo funcionamento é semelhante ao de uma ventosa simples.

Devido à falta de uma norma que regulamente sua fabricação e aplicação, existe uma recusa sistemática por parte das concessionárias de abastecimento de água em instalar o equipamento, alegando os mais diversos motivos, tais como: possibilidade de contaminação

do sistema de abastecimento, falta de estanqueidade, influência na totalização dos consumos aferidos pelo hidrômetro, etc.

Válvula bloqueadora de ar

Trata-se de uma válvula para ser instalada após a estrutura de medição, cujo princípio de funcionamento baseia-se, segundo o fabricante, na identificação do fluido através do diferencial de pressão ar-água.

3.7 *Ligações prediais de água*

A ligação de água é definida como o conjunto de tubulações, estrutura de medição e peças de conexão instaladas com a finalidade de estabelecer uma comunicação hidráulica entre a rede pública de distribuição de água potável, e a instalação predial, utilizada por um consumidor de água, configurando-se como o ponto de entrega do serviço de abastecimento de água (Tsutiya, 2005).

A estrutura de medição caracterizada anteriormente apresenta diferentes concepções de configuração conforme os usos, práticas e tecnologias disponíveis, nas quais se destacam:

- sem medidor, com torneira livre: não existe restrição ao consumo nem controle da quantidade fornecida. É um sistema extremamente precário, no qual o índice de perdas em faturamento e o desperdício é elevado. A cobrança pelo volume consumido é efetuada de maneira subjetiva;
- sem medidor, com restrição de vazão: No sistema com restrição de vazão, existe algum controle na quantidade fornecida, mas, ainda existe um volume elevado de perdas, como já citado anteriormente. A restrição é efetuada de duas maneiras:
 - com a colocação de um registro de pena, ou simplesmente “pena d’água”: trata-se de um registro que possui passagens estreitas e ângulos que produzem perdas de carga capazes de restringir a vazão;
 - instalação de reguladores de vazão: instalados da mesma maneira da pena de água, com a finalidade de manter a vazão constante mesmo com as variações de pressão na rede;

- com medidor: é instalado um hidrômetro, sendo o procedimento atual, defendido pelas companhias concessionárias, no qual o valor faturado é representativo do consumo. É uma medida inibidora do desperdício, atuando como medida incentivadora da fiscalização por parte do usuário de possíveis danos ao sistema de tubulações internas e do ramal predial.

De maneira geral, em uma instalação predial, existe apenas uma ligação, sendo que a residência é chamada de economia pelas concessionárias do serviço de abastecimento de água. No caso de edifícios verticais, quer sejam comerciais ou residenciais, cada unidade pertencente ao endereço, é denominada economia. Neste caso, utiliza-se o conceito de medição coletiva, ou seja, um único medidor para o edifício. A tarifa praticada pela concessionária terá seu valor rateado entre as famílias ou conjuntos comerciais instalados no edifício.

Uma forma mais justa seria individualizar a cobrança da tarifa mesmo em edifícios verticais, ou seja, instalar um medidor para cada família moradora do edifício. Trata-se de uma prática de difícil implementação em edifícios com hidrometração coletiva, uma vez que existe a necessidade de alterações conceituais nos projetos hidráulicos dos edifícios. É necessário que seja facilitado o acesso às operações mensais de leitura e de manutenção periódica.

A implantação do conceito de medição individualizada, que é uma prática mais justa da cobrança dos serviços prestados, após debates técnicos, tem sido adotada em novos condomínios em implantação. Os custos de manutenção (incluindo os medidores adicionais, trechos complementares de tubulação e registro de manobra necessário para ações de manobra e corte em cada sub-ramal de ligação definida na rede interna do edifício), assim como os custos de investimentos necessários para implementação do novo conceito, são de responsabilidade dos usuários.

3.7.1 Componentes da ligação predial

As companhias de saneamento possuem hoje em dia folhetos explicativos que orientam aos consumidores e fixam as condições mínimas requeridas para que possam efetuar a ligação domiciliar. Neste conjunto de informações, constam documentos de padronização técnica, especificações detalhadas sobre a forma de ligação, materiais utilizados, dimensões físicas, posicionamento em relação à via de tráfego, tipos de medidores, etc.

A ligação predial, mostrada na Figura 3.20, é constituída das partes apresentadas a seguir:

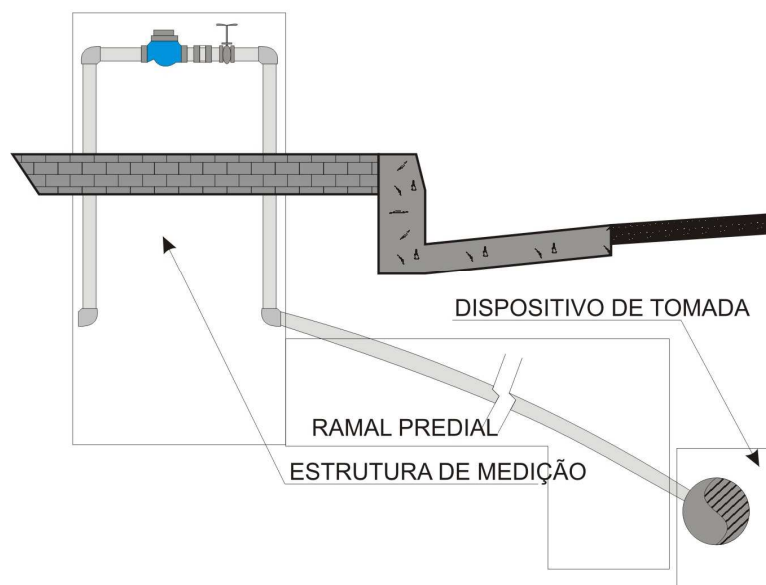


Figura 3.20- Ligação predial.

- dispositivo de tomada: é o conjunto de peças destinado a permitir a conexão do ramal predial à rede pública de distribuição de água. Possuem diversas concepções, sendo que a mais usada é o colar de tomada;
- ramal predial: é a parte compreendida entre colar de tomada e o conjunto de medição;
- estrutura de medição: é o conjunto de peças que configura o ponto de entrega do serviço de abastecimento de água e é definido pelo ponto de medição.

Apesar de apresentar diversas concepções de sistemas e tecnologias, prevalece entre os serviços de saneamento a ligação com medidor, em que os hidrômetros são os medidores mais utilizados.

3.8 *Hidrômetros*

Hidrômetro ou medidor de água é o instrumento de aferição de consumo destinado a indicar e totalizar, continuamente, o volume de água que o atravessa. Os hidrômetros são classificados em volumétricos e taqueométricos ou de velocidade (NBR NM 212). Os hidrômetros volumétricos, também chamados de deslocamento positivo, são aparelhos sensíveis e de grande precisão, porém frágeis, cujo custo operacional é alto. Sua aplicação está restrita a

medição de óleos e outros fluidos, evitando-se sua utilização em sistemas de distribuição e abastecimento de água (Nogami, 1976).

O hidrômetro taqueométrico ou de velocidade é aquele cujo mecanismo medidor é acionado pela ação da velocidade da água sobre um componente móvel (turbina ou hélice). Os hidrômetros taqueométricos são muito utilizados pela sua capacidade de integração de diversas funções em espaço reduzido, tais como: medição, totalização e armazenamento de dados. Trata-se de um medidor de custo reduzido em face de sua robustez e simplicidade de manutenção em relação aos demais medidores, possuindo dois tipos de acionamento:

- Monojato: hidrômetro taqueométrico onde o mecanismo medidor é acionado por um único jato de incidência tangencial da água sobre o componente móvel (NBR NM 212). A incidência de um único jato comprime a turbina lateralmente provocando desgastes no eixo e na parte interna da turbina (Rech, 1999) Com o desenvolvimento de novas tecnologias e materiais, praticamente deixou de existir tal problema. O hidrômetro mono- jato, ilustrado pela Figura 3.21, hoje se equipara em qualidade e eficiência ao hidrômetro multijato, além de apresentar a vantagem de poder trabalhar tanto na horizontal quanto na vertical.

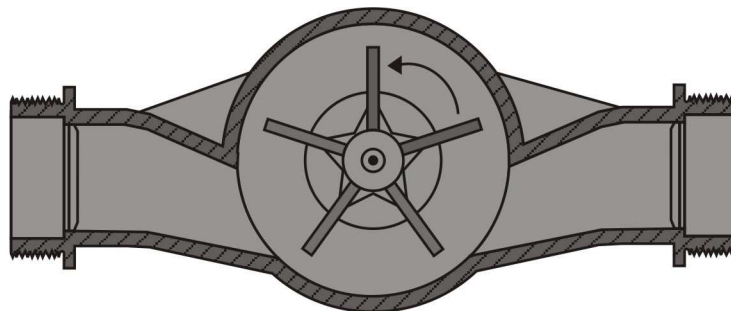


Figura 3.21- Hidrômetro monojato.

- Hidrômetro Multijato: o mecanismo é acionado por vários jatos tangenciais na parte inferior da câmara (NBR NM 212), proporcionando a formação de forças binárias que equilibram o conjunto de medição, notadamente a turbina, causando menor desgaste e maior precisão. A eliminação é efetuada por igual número de orifícios situados na parte superior da câmara. Possui custos de aquisição mais elevados que o modelo monojato e opera nas vazões de $1,5\text{m}^3/\text{h}$ a $30\text{m}^3/\text{h}$ (Figura 3.22).

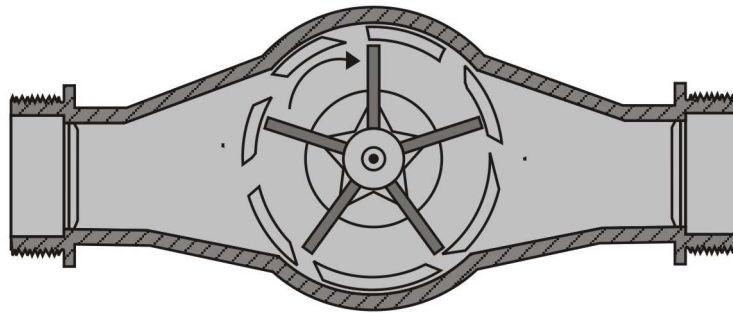


Figura 3.22: Hidrômetro multijato.

- Medidor Woltman, ilustrado pela Figura 3.23, é definido como o medidor taqueométrico em que a incidência do fluxo do fluido sobre o eixo da turbina é axial (Nogami, 1976).

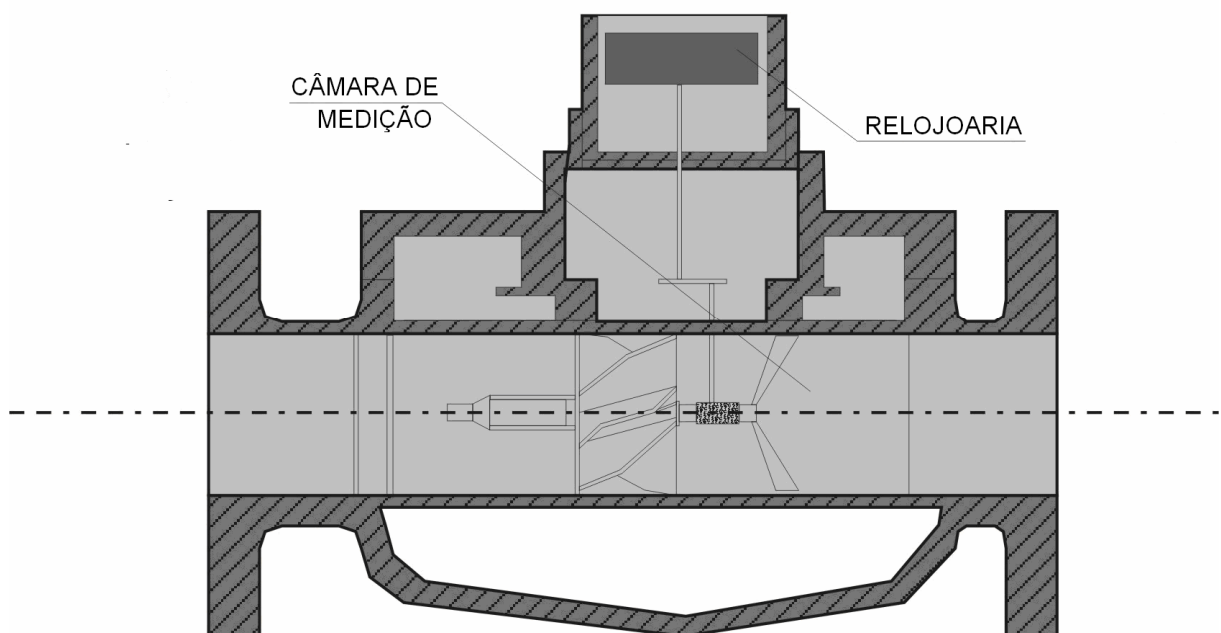


Figura 3.23- Hidrômetro Woltman.

Neste modelo é dispensada a construção de câmara de medição, pois a água aproveita toda a seção do medidor. As suas principais características são: durabilidade e baixa perda de carga. O medidor Woltman possui ainda dois tipos de turbina: vertical e horizontal, sendo que o medidor horizontal possui menor perda de carga.

3.8.1 Classificação segundo classes metrológicas

Em relação à precisão, os hidrômetros foram posicionados em classes metrológicas de acordo com as vazões mínimas e de transição (NBR NM 212). Segundo Rech (1999), no Brasil estavam previstas inicialmente duas classes: A e B onde se situavam os hidrômetros de baixa vazão (hidrômetros com vazão nominal menor ou igual a $15\text{m}^3/\text{h}$). Em 1992, iniciaram-se as discussões para inclusão nas normas brasileiras de medidores classe C, o que somente ocorreu em 1997. A Tabela 3.4 ilustra as classes dos hidrômetros.

Tabela 3.4- Classes metrológicas dos hidrômetros (Rech, 1999)

Classe do hidrômetro	Vazão de trabalho		Vazão nominal do hidrômetro (m^3/h)								
			0,60	0,75	1,00	1,50	2,50	3,50	5,00	10,00	15,00
A	$Q_{\min.}$	(l/h)	24	30	40	40	100	140	200	400	600
	Q_t		60	75	100	150	250	350	500	1000	1500
B	$Q_{\min.}$		12	15	20	30	50	70	100	200	300
	Q_t		48	60	80	120	200	280	400	800	1200
C	$Q_{\min.}$		6	7,5	10	15	25	35	50	100	150
	Q_t		9	11	11	22,5	37,5	52,5	75	150	225

Os hidrômetros taqueométricos são classificados de acordo com sua vazão. Para hidrômetros com vazões nominais até $15\text{m}^3/\text{h}$, emprega-se a NBR NM 212/1999, que indica a classificação metrológica em razão da vazão nominal e dos valores da vazão mínima e da vazão de transição. Para valores acima de $15\text{m}^3/\text{h}$ até $1.500\text{m}^3/\text{h}$, emprega-se a NBR 14005/1997. As vazões operacionais dos hidrômetros são definidas pela NBR 8009 como:

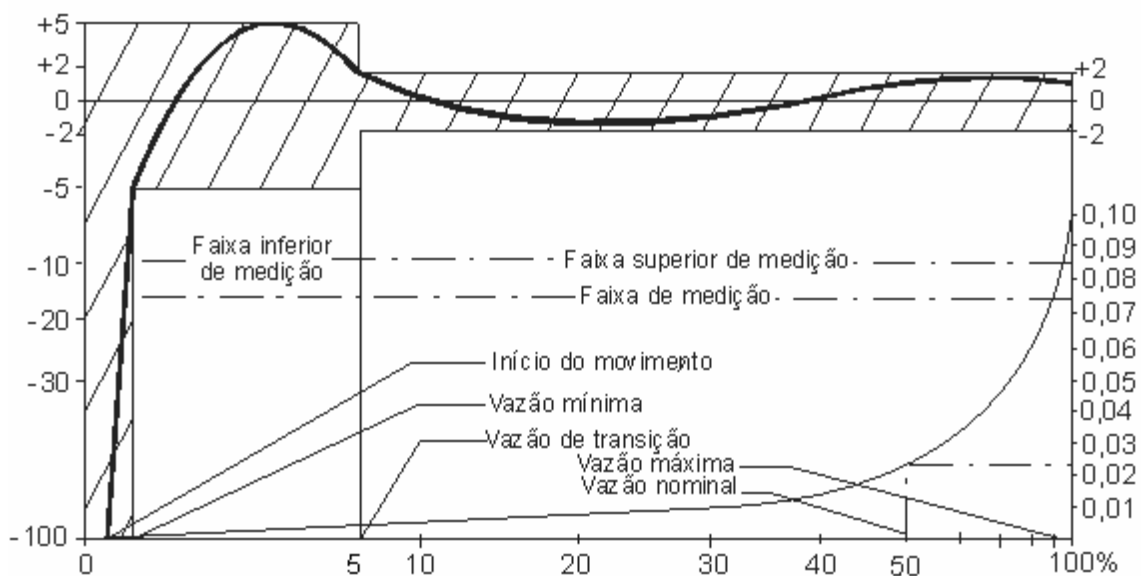
- vazão máxima ($Q_{\max}$): é a maior vazão admissível em um hidrômetro, em m^3/h . Representa a maior vazão na qual um hidrômetro pode trabalhar em dado espaço de tempo sem apresentar uma perda de carga superior 10 mca. Representa uma capacidade temporária, após a qual os mecanismos apresentam danos;

- vazão nominal (Q_n): corresponde a 50% da vazão máxima. Ainda assim, verifica-se desgaste excessivo nos mecanismos de medição levando a erros mais constantes;
- vazão de transição (Q_t): é a vazão que separa a faixa inferior de medição da faixa superior de medição, correspondendo a 5% da vazão máxima do hidrômetro. Preferencialmente, os hidrômetros deverão trabalhar acima da vazão de transição que é a faixa na qual se situam os menores erros;
- vazão mínima (Q_{min}): é aquela em que o volume totalizado pelo hidrômetro está dentro da faixa de erro admitida pelas normas e legislação vigentes no país. O hidrômetro deverá trabalhar sempre acima desta vazão;
- vazão de trabalho: é a faixa compreendida entre vazão mínima e a vazão máxima do hidrômetro. É limitada pela vazão inferior de trabalho, que é definida como sendo 1,2 vezes a vazão de transição, e pela vazão superior de trabalho, definida como sendo 50 % do valor da vazão nominal do hidrômetro.

Faixas de medição

Os hidrômetros trabalham segundo faixas de medição as quais são denominadas de faixa inferior de medição (inclusive) e faixa superior de medição (inclusive). A Figura 3.24 ilustra as faixas de medição dos hidrômetros bem como nos permite visualizar as faixas indicativas de erros admissíveis dos hidrômetros.

Figura 3.24: Curva de Erros dos hidrômetros taqueométricos (Rech, 1999).



Em cada uma das faixas, os hidrômetros possuem limites de erros de totalização estabelecidos pela NBR NM 212 (Tabela 3.5).

Tabela 3.5- Erros de indicação de hidrômetros (Rech, 1999)

Hidrômetro	Faixa inferior de medição	Faixa superior de medição
Taqueométrico	$\pm 5,0\%$	$\pm 2,0\%$
Volumétrico	$\pm 3,5\%$	$\pm 2,0\%$

- faixa inferior de medição é aquela que comporta as vazões compreendidas entre a vazão mínima (inclusive) e a vazão de transição (exclusive);
- faixa superior de medição: é aquela que comporta as vazões compreendidas entre a vazão de transição (inclusive) e a vazão máxima (inclusive). Normalmente os hidrômetros possuem melhor desempenho dentro desta faixa, sendo também a que apresenta menor erro de totalização.

Classificação segundo os mecanismos

Em relação aos seus mecanismos, os hidrômetros classificam-se nos seguintes tipos (NBR 8009):

- relojoaria úmida com totalizador em meio próprio: o totalizador fica imerso em uma solução diferente totalmente separada da água, em um recipiente totalmente blindado. Este tipo é normalmente empregado em medidores classe C, possuindo grande sensibilidade;
- relojoaria úmida: neste tipo de hidrômetro, toda a relojoaria fica imersa em água. A faixa de erro é menor e a água serve como lubrificante da gaxeta;
- relojoaria totalmente seca: os hidrômetros com relojoaria totalmente seca apresentam o mostrador e o mecanismo de totalização em uma câmara hermeticamente fechada, sendo que não existem mecanismos que atravessem a placa separadora. A transmissão dos volumes medidos é feita através de meio magnético, o que elimina qualquer contato da água da câmara de medição com os componentes da relojoaria;
- relojoaria seca: são hidrômetros mecânicos, cuja relojoaria está isolada da câmara de medição por uma placa separadora. O trem de engrenagens quase sempre fica imerso em água.

3.9 *Considerações parciais*

Neste capítulo foram descritas algumas pesquisas que abordam o problema, bem como a importância a ser dada no aspecto de dotar as redes físicas do perfil adequado de implantação e do correto posicionamento dos aparelhos de retirada mecânica do ar nas redes de abastecimento de água, as ventosas. Foram descritos também, os aparelhos destinados a reduzir e/ou eliminar o ar nas ligações prediais: o eliminador de ar, que segundo instruções dos fabricantes deve ser instalado a montante do hidrômetro na estrutura de medição, e o aparelho bloqueador de ar, cuja instalação é efetuada a jusante da estrutura de medição. Destaca-se também a importância que deve ser dada à solubilidade dos gases, fenômeno através do qual um gás incorpora-se ao meio líquido. Também foram descritos todos os componentes de uma ligação predial e a importância dos hidrômetros como meio de aferição do consumo domiciliar.

Para verificar a influência do ar nos volumes aferidos pelos hidrômetros de ligações prediais, será necessário construir um aparato experimental que possibilite verificar as diversas situações em que ocorre a entrada de ar nas redes de distribuição, bem como aferir a passagem de volumes de ar pela estrutura de medição predial que possam ocasionar prejuízos aos consumidores.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 *Introdução*

No Capítulo 3, foram relatadas várias experiências relacionadas aos problemas de ar nas tubulações. A maioria destas pesquisas foram realizadas em campo e outras em laboratório. As experiências realizadas em campo não puderam ter as variáveis do fenômeno bem controladas. Por outro lado, as experiências realizadas em laboratório, embora tivessem as variáveis mais bem controladas não adotaram a mesma metodologia, pois não existe nas normas brasileiras procedimentos para os ensaios dos equipamentos envolvidos, já que só recentemente eles surgiram no mercado. Mesmo as ventosas, há muitos anos utilizadas nas redes de distribuição de água, não possuem procedimentos que regulamentem os testes efetuados.

Desse modo, optou-se pela construção de uma bancada de testes, detalhada no item subsequente, que pudesse simular em laboratório, as condições operacionais de uma rede de distribuição de água.

4.2 *Aparato experimental*

Os experimentos de laboratório foram conduzidos no Centro de Pesquisas Hidráulicas – CPH da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, numa bancada para testes para válvulas redutoras de ar. A bancada experimental é composta por uma tubulação com 50m de extensão e 100mm de diâmetro, que simula uma rede de abastecimento, possuindo uma inclinação ascendente de 1% no sentido do escoamento. A tubulação está interligada a um sistema de bombeamento por um lado, e por outro, aos ramais prediais de diâmetros de 15mm ($\frac{1}{2}$ ”), 20mm ($\frac{3}{4}$ ”) e 25mm (1”). Em cada um destes ramais estão instalados em série, dois hidrômetros, um a montante e outro a jusante do equipamento a ser testado. A bancada experimental denominada LEVR-AR (Laboratório de Ensaios de Válvulas Redutoras de Ar) é retratada nas Figuras 4.1 a 4.6.

Do lado direito das Figuras 4.1 e 4.2 destacam-se o conjunto moto-bomba com suas tubulações de sucção e recalque, e do lado esquerdo, o reservatório principal com capacidade para 1300 litros, bem como a rede de abastecimento e sua tubulação de descarga



Figura 4.1- Vista lateral direita do LEVR-AR

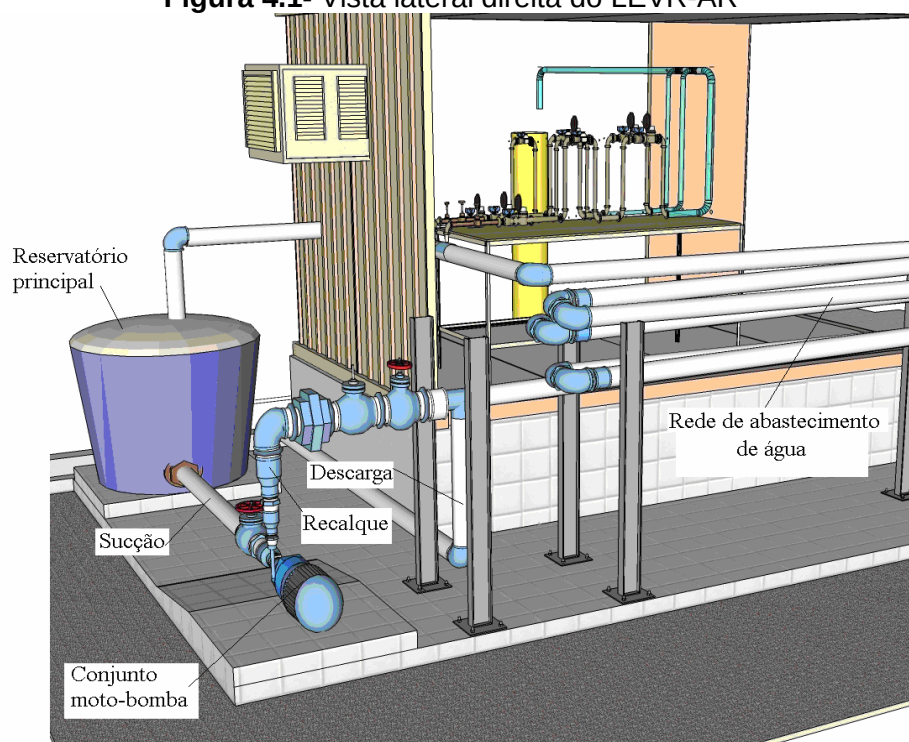


Figura 4.2- Vista lateral direita do LEVR-AR (imagem)

Do lado direito da Figura 4.3 e 4.4 pode ser vista a rede de abastecimento e do lado esquerdo o reservatório de calibração e a bomba auxiliar. Este reservatório possui 0,255m de diâmetro, 2,0m de altura e capacidade aproximada de 102 litros.



Figura 4.3- Vista lateral esquerda do LEVR-AR.

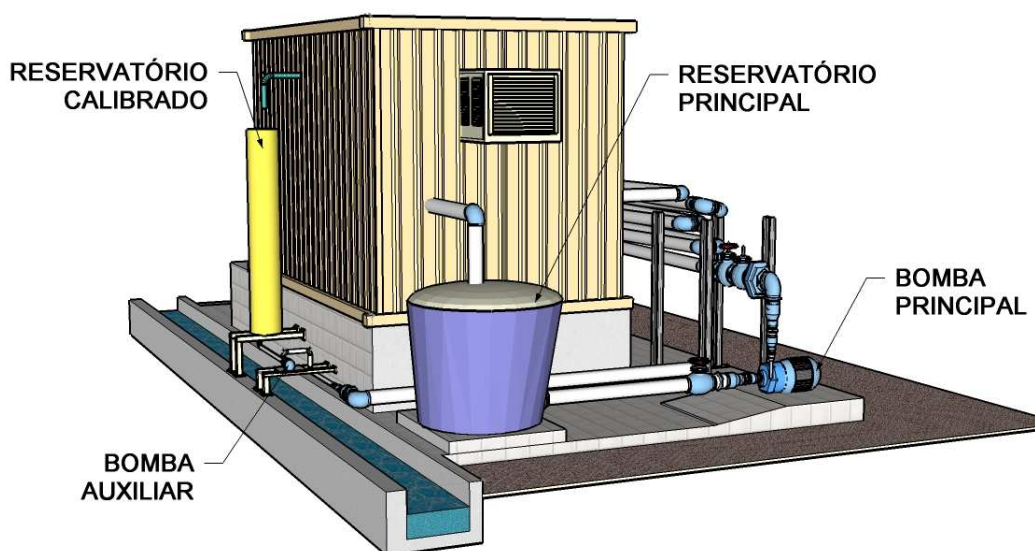


Figura 4.4- Vista lateral esquerda do LEVR-AR (imagem).

As Figura 4.5 e 4.6 mostram o interior do LEVR-AR, com destaque para os três ramais prediais interligados a montante pela rede de abastecimento, e a jusante aos cavaletes, sendo o primeiro para a instalação da válvula redutora de ar imediatamente após a válvula de retenção, e o segundo cavalete destinado a estrutura de medição. A válvula de retenção tem sido uma das exigências da COPASA-MG para a instalação das válvulas redutoras de ar.



Figura 4.5- Vista interna do LEVR-AR- montagem dos cavaletes conforme padrão COPASA.

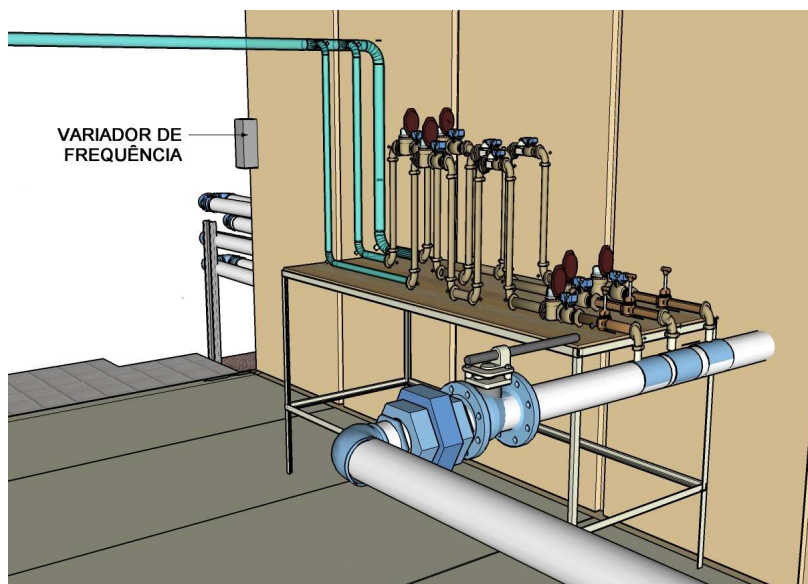


Figura 4.6- Vista interna do LEVR-AR- montagem dos cavaletes conforme padrão COPASA

Assim, a água proveniente da rede de distribuição pode abastecer os ramais prediais, sendo conduzida ao reservatório calibrado, utilizado para medir o volume de água ou retornar ao reservatório de origem, de 1300 litros de capacidade.

O conjunto moto bomba principal, da marca Mark Peerless, possui capacidade para aduzir $5\text{m}^3/\text{h}$ e altura manométrica total de 60mca. O conjunto moto bomba auxiliar tem a função de esvaziar o recipiente calibrado e a rede de distribuição. Para permitir as várias vazões e

pressões necessárias aos testes, o conjunto moto-bomba principal é interligado a um variador de frequência Siemens CFW 9.

Os hidrômetros utilizados foram da marca LAO, magnéticos, Classe C – Vazão Máxima $5\text{m}^3/\text{h}$, previamente aferidos pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC, sendo que a correlação de medidas de volume entre os hidrômetros foi efetuada no ramal de ϕ 3/4", ilustrado pela Figura 4.7, cuja tabela de dados encontra-se no Apêndice1. A opção por hidrômetros de maior capacidade, no caso $5\text{m}^3/\text{h}$, em detrimento do hidrômetro $3\text{m}^3/\text{h}$, deveu-se ao fato de que as velocidades e vazões de ar estabelecidas para os testes poderiam ocasionar erros de medição, uma vez que situavam-se numa faixa onde os hidrômetros de $3\text{m}^3/\text{h}$, normalmente utilizados nos ramais de 3/4", não operam.

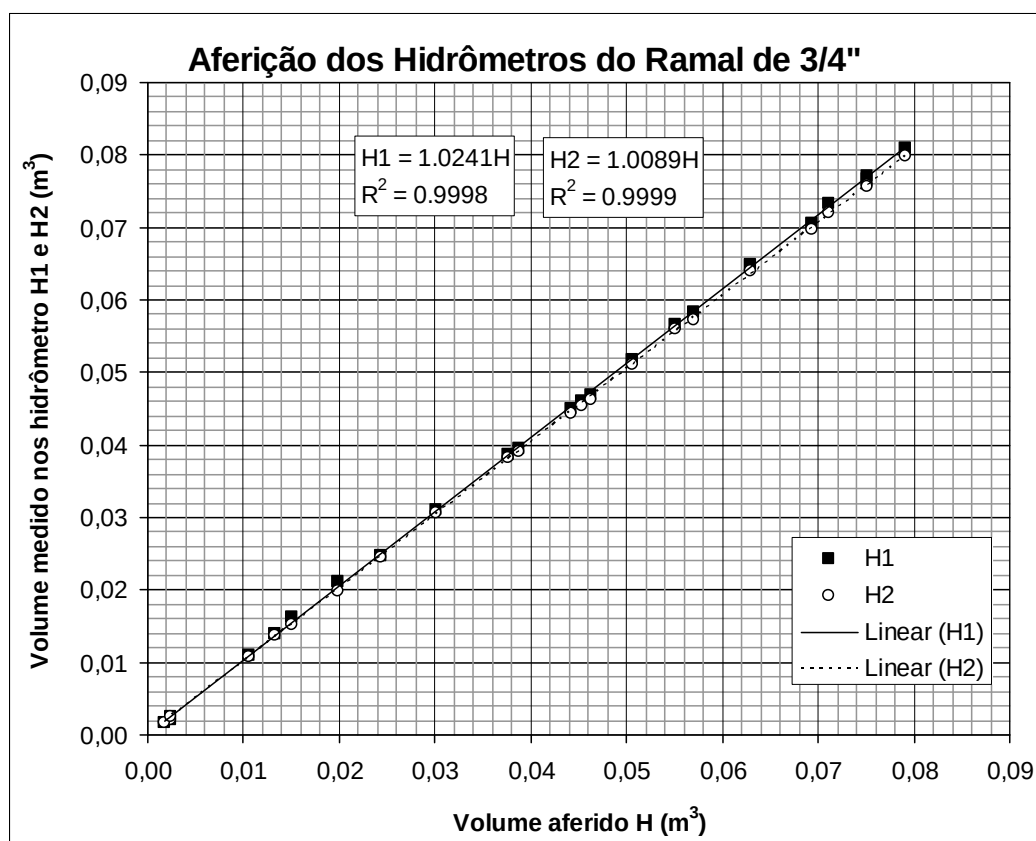


Figura 4.7- Aferição dos hidrômetros do ramal de 3/4".

As pressões no sistema foram verificadas através de manômetros do tipo Bourdon, com escala compreendida entre 0 e $10\text{kgf}/\text{cm}^2$, com faixa de leitura separada por $0,1\text{kgf}/\text{cm}^2$.

O programa de testes foi aplicado a dois aparelhos distintos de um mesmo fabricante, exceto os testes aplicados à ventosa simples efetuados em um só aparelho. A realização dos testes em

dois aparelhos faz parte das exigências contidas no TAC (Termo de Ajuste de Conduta) celebrado entre o PROCON-MG (Procuradoria de Defesa do Consumidor de Minas Gerais) e o Movimento das Donas de Casa e Consumidores de Minas Gerais. Dentre esses, foram testados o eliminador de ar, o bloqueador de ar e a ventosa. Os aparelhos testados são detalhados nos itens seguintes.

4.2.1 Aparelho eliminador de ar

O aparelho eliminador de ar foi instalado no ramal predial de 20mm ($\frac{3}{4}$ " de diâmetro, provido de dois cavaletes, sendo o cavalete de jusante do tipo normalmente encontrado nas instalações prediais e o de montante, conforme exigência da COPASA-MG, está equipado com um te e uma válvula de esfera em posição vertical, a jusante de uma válvula de retenção para permitir a instalação dos diversos modelos de válvulas redutoras de ar. No caso do aparelho testado, foi necessário efetuar a retirada do te e da válvula de esfera, uma vez que, segundo recomendações do fabricante, o aparelho deveria ser instalado em linha, imediatamente a jusante da válvula de retenção do cavalete de montante (Figura 4.8).

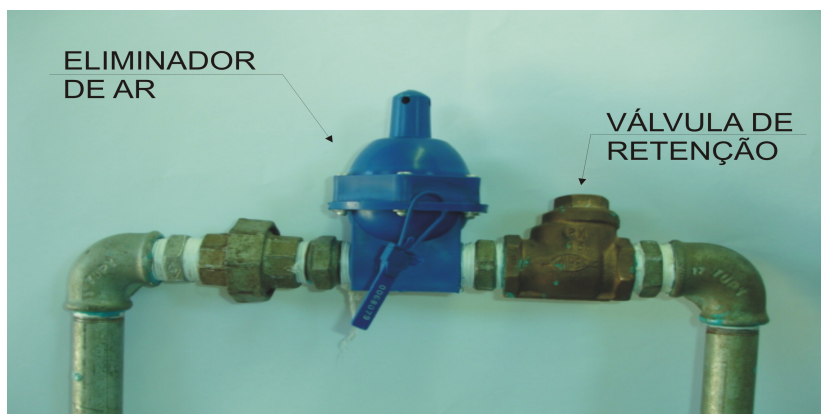


Figura 4.8- Montagem de aparelho eliminador de ar.

O eliminador de ar possui corpo em polipropileno, hermeticamente fechado, possuindo princípio de funcionamento semelhante ao da ventosa simples. Internamente, possui um flutuador ilustrado pela Figura 4.9 que flutua na água e dois orifícios destinados a conduzir o ar até o orifício de saída localizado na parte superior do eliminador de ar. À medida que o ar é liberado, a água inunda a câmara onde está o flutuador, fazendo com que este flutue e feche o orifício de saída situado acima da câmara principal. A câmara secundária, possui uma esfera

em aço, responsável por manter fechada a passagem que conecta a saída do fluido da câmara principal, para a câmara secundária onde estão localizados os orifícios de saída de ar.

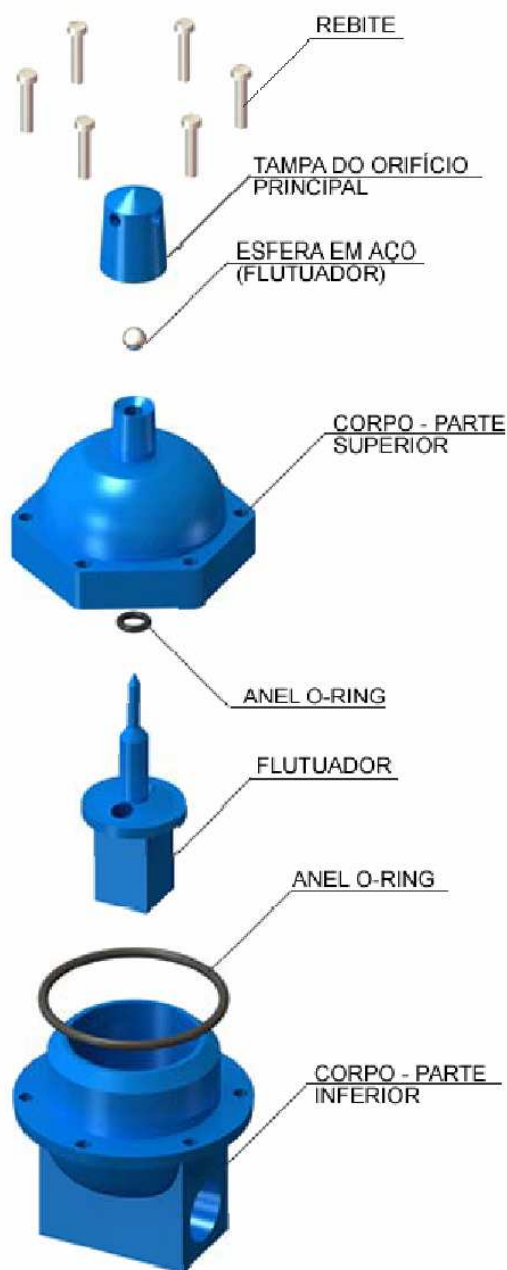


Figura 4.9- Vista explodida do eliminador de ar.

4.2.2 Aparelho bloqueador de ar

A exemplo do aparelho eliminador de ar, o bloqueador de ar também foi instalado no ramal predial de 20mm ($\frac{3}{4}$ ") de diâmetro, imediatamente a jusante da estrutura de medição e a montante do registro de pressão RP-1 (Figura 4.10).

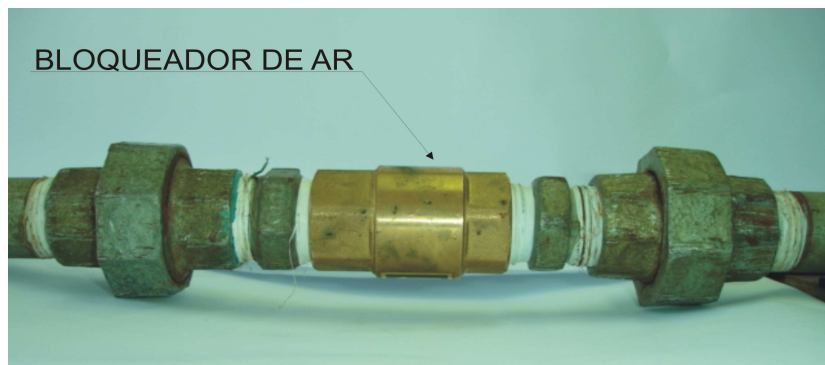


Figura 4.10- Montagem de bloqueador de ar.

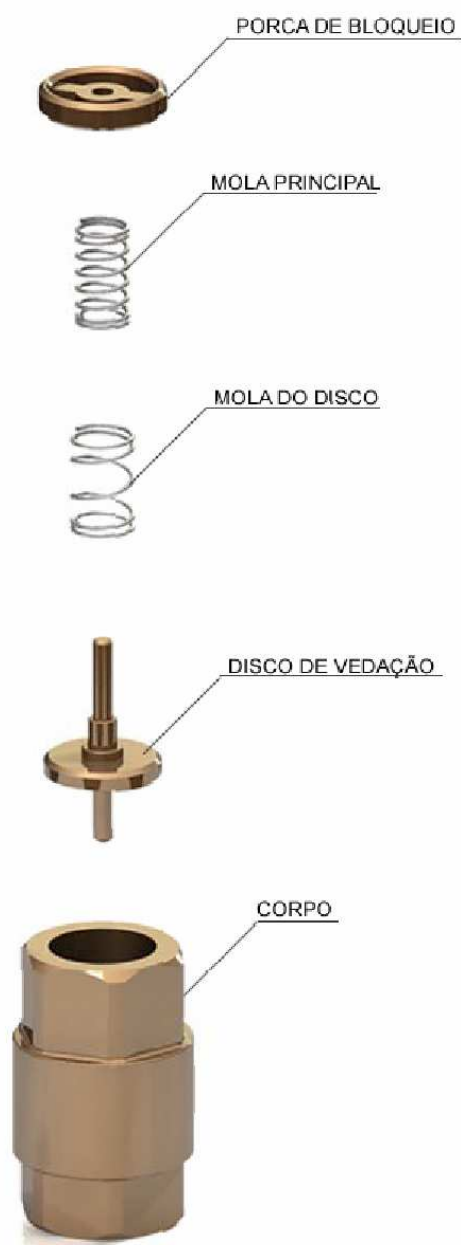


Figura 4.11- Vista explodida do bloqueador de ar.

4.2.3 Ventosa simples

Foram efetuados testes de eficiência da ventosa simples, instalada na tubulação de diâmetro 100 mm, que simula a rede de abastecimento, responsável pela admissão e eliminação de ar na rede de abastecimento. O objetivo do teste, foi efetuar um comparativo da eficiência da mesma em relação aos outros dois tipos de aparelhos testados. Sua instalação foi efetuada a montante dos ramais prediais, e é ilustrada pela Figura 4.8.

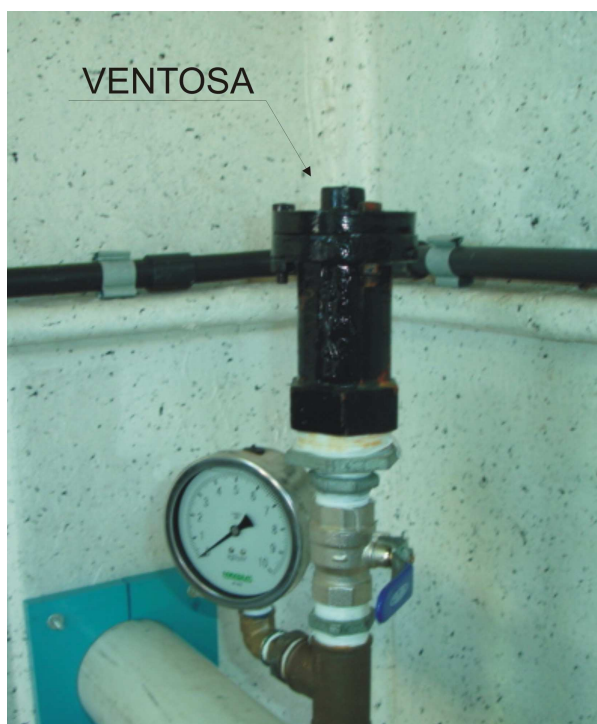


Figura 4.12- Ventosa montada na linha de recalque.

A ventosa testada possui corpo em ferro fundido e diâmetro de entrada da câmara de 50mm (2”), montada em um colar de tomada para ligações prediais de 1”. Internamente, a ventosa possui um flutuador em forma de “copo”, construído em poliuretano, possuindo as seguintes dimensões: largura 4 mm e altura 10mm. A Figura 4.13 mostra o corte da ventosa utilizada nos testes.

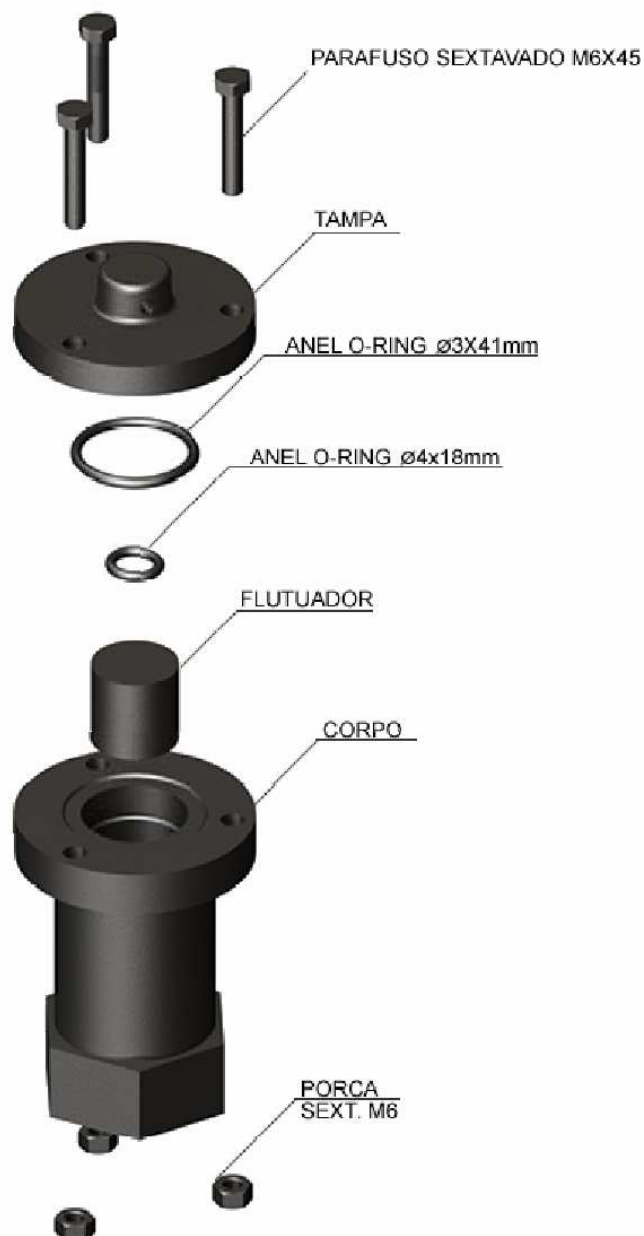


Figura 4.13- Ventosa montada na linha de recalque.

Na estrutura de montagem da ventosa, foi instalado o manômetro Bourdon que serve para verificar as pressões nas quais são conduzidos os testes.

4.3 Metodologia

4.3.1 Os testes efetuados

Conforme relatado anteriormente, as válvulas redutoras de ar surgiram no comércio em 1991, e talvez, pelo pouco tempo de existência no mercado, ainda não existe nas normas brasileiras uma especificação que padronize os ensaios de eficiência desse equipamento. O procedimento aqui proposto visa a reproduzir a faixa de vazão de trabalho dos hidrômetros normalmente utilizados nos ramais prediais e as pressões extremas da rede de distribuição de água admitidas pela Norma Brasileira NBR 12218 que são: 0,1MPa ou 10mca e 0,5MPa ou 50mca.

Duas situações distintas de funcionamento da rede de abastecimento foram avaliadas: a primeira correspondente às condições normais de operação da rede de distribuição de água da bancada de testes, e a outra, com abastecimento de água, após o esvaziamento total da rede de abastecimento. Em relação à situação de desabastecimento seguida de abastecimento, foi verificado inicialmente, o volume de ar medido na ligação predial. Em seguida, para as duas situações propostas, foi avaliada a eficiência dos aparelhos destinados a eliminar e/ou minimizar os efeitos do ar nas redes de abastecimento e nos ramais prediais.

A faixa de vazões, aqui denominadas vazões de referência (Q_{ref}), foram estabelecidas para os hidrômetros instalados em ramais prediais de ¾”, tal como realizado neste trabalho, segundo a Portaria INMETRO 246/2000 e na norma brasileira NBR 12218, estão mostradas nas Tabelas 4.1 e 4.2.

Tabela 4.1- Vazões de trabalho para hidrômetros de 3 e 5 m³/h.

Vazões de Trabalho	Hidrômetro Magnético Classe C	
	Capacidade	
	3,00 (m ³ /h)	5,00 (m ³ /h)
Vazão máxima $Q_{máx}$	3,00	5,00
Vazão nominal Q_n	1,50	2,50
Vazão de transição Q_t	0,18	0,30
Vazão mínima $Q_{mín}$	0,03	0,05
Vazão máxima operacional Q_o	0,75	1,25
Limite inferior de medição L_{inf}	0,18	0,30

Tabela 4.2- Parâmetros hidráulicos condições normais de operação

Etapas	Pressão (mca)	Vazão de bombeamento (m ³ /h)
1	10	0,18
2	10	0,50
3	10	0,75
4	10	1,00
5	10	1,50
6	50	0,18
7	50	0,50
8	50	0,75
9	50	1,00
10	50	1,50

As vazões de referência e as pressões estabelecidas pelas condições hidráulicas foram controladas por um registro de pressão (*RP1*), previamente calibrado, posicionado logo após o cavalete do hidrômetro de jusante. A Figura 4.14 mostra o fluxograma de funcionamento da bancada de testes.

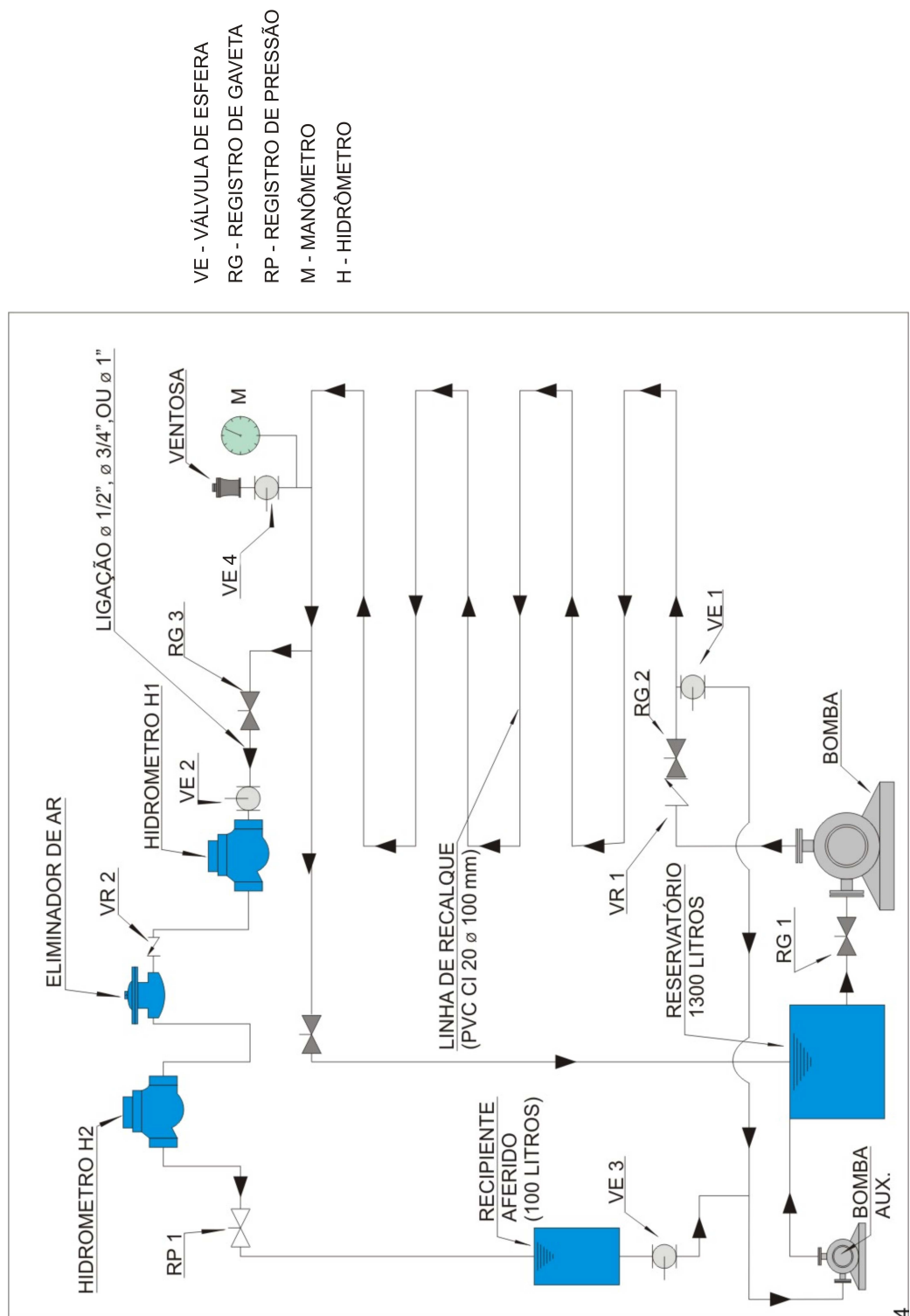


Figura 4.14- Fluxograma de teste.

As correlações entre a vazão de teste *versus* ângulo de abertura do registro de pressão e de operação da bomba principal estão ilustradas e 4.4. As figuras 4.15 e 4.16 mostram a curva de calibração do registro de pressão utilizado para estabelecer as vazões de referência (RP1), cujos dados encontram-se nos apêndices 2 e 3.

Tabela 4.3- Condições de operação da bomba para pressão de 10mca.

Vazão m ³ /h	Ângulo (graus)	Rotação (rpm)
0,18	80°	1347
0,50	144°	1380
0,75	215°	1407
1,00	304°	1433
1,50	535°	1485

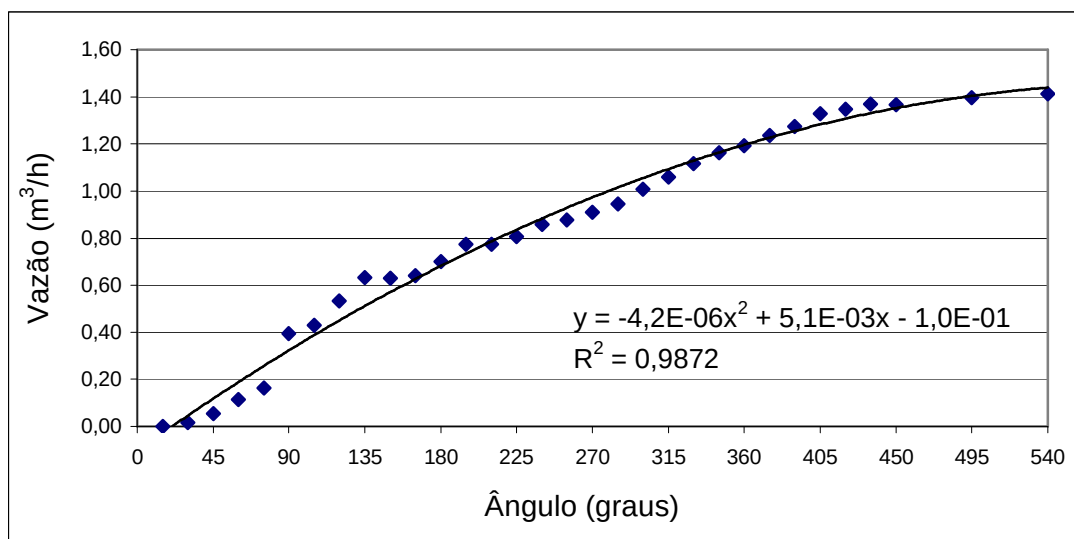


Figura 4.15- Aferição do registro de pressão para a carga de 10mca.

Tabela 4.4- Condições de operação da bomba para pressão de 50mca.

Vazão m ³ /h	Ângulo (graus)	Rotação (rpm)
0,18	36°	2895
0,50	59°	2895
0,75	74°	2895
1,00	90°	2950
1,50	130°	2977

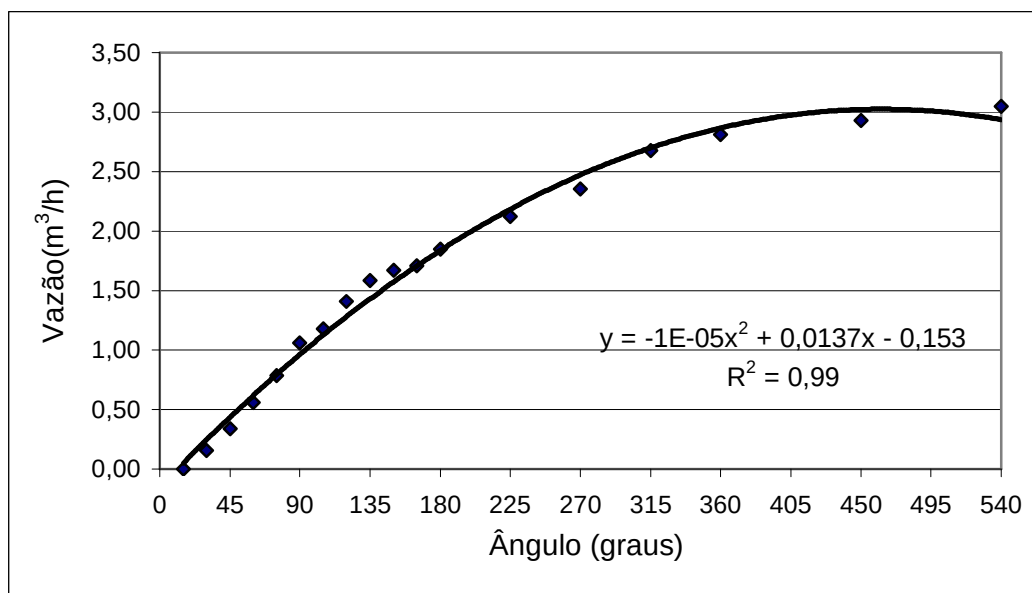


Figura 4.16- Aferição do registro de pressão para carga de 50mca.

Em ambos os casos, o abastecimento da rede ocorreu por meio do acionamento do conjunto moto-bomba. A metodologia empregada em cada uma dessas situações é relatada nos subitens a seguir.

4.3.2 Simulação das condições normais de operação

Para simular as condições normais de operação da rede de distribuição de água, em todos os testes foram adotados os seguintes procedimentos: inicialmente, todo o sistema era cheio com água (sem bolsões de ar). Para tanto, após o acionamento do sistema de bombeamento, a válvula VE 3 ligada à ventosa era aberta, bem como os registros RG-1, RG-2 e RG-4, para permitir a recirculação da água pela tubulação de $\phi 100\text{mm}$. Conforme apresentado no fluxograma da Figura 4.14, após a retirada do ar através da ventosa, o registro RG-4 e a válvula VE-3 eram fechados. Assim, após a realização dos procedimentos de teste, os dados necessários para o cálculo da eficiência dos aparelhos testados, eram obtidos.

Para a determinação da eficiência da válvula redutora de ar em condições normais de operação da rede de abastecimento de água da bancada de testes, foram medidos os volumes registrados nos hidrômetros a montante (H_1 e H_2), bem como o volume de água no reservatório calibrado. Os valores lidos antes e depois dos testes foram anotados Tabela 4.5.

Assim, para cada teste realizado, foi possível determinar a eficiência do equipamento, através da equação (4.1), cujo numerador e denominador representam, respectivamente, o volume de ar retirado pela válvula a ser testada e o volume de ar que penetra no ramal predial em condições normais de operação:

$$E = 100 \times \frac{V_1 - V_2}{V_1 - V_R} \quad (4.1)$$

em que:

E = eficiência do equipamento (%);

V_1 = volume medido no hidrômetro H_1 (m^3);

V_2 = volume medido no hidrômetro H_2 (m^3);

V_R = volume medido no reservatório calibrado (m^3).

Tabela 4.5- Tabela de dados dos experimentos: condições normais de operação

Pressão de Trabalho =			10mca	Rotação = 1350rpm			Teste	14/mai		
Teste	Leitura dos Hidrômetros do Ramal de ¾”(m³)						Reservatório Aferido			
	H1			H2			Tempo s	Altura (m)		VR (m³)
	Inicial	Final	V1	Inicial	Final	V2		Inicial	Final	
1										
2										
3										
4										
5										
Média				Média				Média		
Desv. Pad.				Desv. Pad.				Desv. Pad.		

Assim, os testes foram realizados próximos aos limites inferior e superior de trabalho dos hidrômetros, qual seja, entre as vazões de $0,18m^3/h$ e $0,75m^3/h$, condições hidráulicas normais de trabalho dos hidrômetros instalados nas ligações prediais. Foram acrescentadas mais duas vazões: $1,50m^3/h$, vazão nominal do hidrômetro predial, e $1,00m^3/h$, como vazão intermediária em uma faixa imediatamente acima ao limite superior da faixa de medição dos hidrômetros.

4.3.3 Simulação das condições de abastecimento após esvaziamento da rede

Para simular as condições de esvaziamento seguido de abastecimento da rede de distribuição, em todos os testes foram adotados os seguintes procedimentos: inicialmente, toda a tubulação que simula a rede de abastecimento era preenchida com ar. A admissão de ar, descrita a seguir, era efetuada através da ventosa (ver Figura 4.12): eram abertas a válvula VE-3 ligada à ventosa e a válvula VE-1 que efetua o esvaziamento da rede de abastecimento e permite o retorno da água ao reservatório principal. O sistema auxiliar de bombeamento era acionado para ajudar no esvaziamento da rede de distribuição e do recipiente de aferição, quando utilizado. As válvulas VE-1 e VE-3 e o registro RG-1 foram fechados. A seguir, foi acionado o sistema de bombeamento auxiliar. Após a admissão do ar através da ventosa, as válvulas VE-1 e VE-3 foram fechadas e o registro RG-1 foi aberto. Com a bomba principal ligada, o ar, empurrado pela água, passa pelo ramal predial em teste.

A simulação do teste de eficiência dos aparelhos eliminador e bloqueador de ar em situação de abastecimento de água após o esvaziamento total da rede de distribuição, foram realizados em duas etapas. Na primeira etapa foi avaliado, para cada uma das vazões em condições normais de abastecimento de água previamente estabelecidas, o volume de ar registrado no hidrômetro H₂, sem válvula redutora de ar. O procedimento do teste iniciava-se com o acionamento do variador de frequência previamente ajustado às condições estabelecidas pelas Tabelas 4.3 e 4.4, detalhadas anteriormente, ou seja, rotação da bomba e ângulo de abertura do registro de pressão (RP-1). Ao alcançar a rotação e a pressão pré-estabelecidas para o teste, abre-se a válvula VE-2, durante um intervalo de tempo de 60s. O intervalo de tempo de 60s foi estabelecido após a constatação de que o mesmo garantiria somente a presença de ar na rede de abastecimento. Este intervalo de tempo para o teste é válido somente para a pressão de 10mca. Na realização dos testes com a pressão de 50mca, o intervalo de tempo precisou ser reduzido para cada alteração na abertura do registro de pressão RP-1. Os resultados lidos antes e depois dos testes foram anotados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6- Tabela de dados dos experimentos: condições normais de operação

Teste sem Eliminador de Ar				Teste com Eliminador de Ar			
Abertura da válvula	80°			Rotação da Bomba	1347rpm		
Tempo	60s		1347 rpm	Tempo	60s		
	Leitura do hidrômetro H2				Leitura do hidrômetro H2		
Teste	Inicial	Final	V	Inicial	Final	V	E (%)
1							
2							
3							
4							
5							
		média			média		
	desvio padrão				desvio padrão		

Os testes para desabastecimento seguido de abastecimento sem auxílio de aparelhos eliminadores de ar foram efetuados para dois intervalos de tempo: 180 e 300s. Para os testes efetuados no intervalo de tempo de 300s, quando a pressão utilizada foi de 50mca, somente foi possível verificar a quantidade de ar para as vazões de 0,18m³/h e 0,50m³/h, uma vez que o recipiente calibrado ficou cheio antes de ser completado o tempo estabelecido para o teste. Os valores lidos antes e depois dos testes foram anotados na Tabela 4.6.

Na segunda etapa, foi inserido o aparelho no cavalete de montante ou, no caso de bloqueador de ar, após o hidrômetro de jusante. Novamente foi medido o volume de ar registrado no hidrômetro de jusante, para as mesmas condições hidráulicas e mesmo intervalo de tempo da primeira etapa quando a pressão de teste aferida foi de 10mca, no caso, 60s. Para os testes efetuados com a pressão de 50mca, o intervalo de tempo foi reduzido de 60s para a vazão de 0,18m³/h até um mínimo de 10s para a vazão de 1,50m³/h.

Para os testes da ventosa, foram adotados os mesmos procedimentos dos testes aplicados ao eliminador de ar e ao bloqueador de ar, sendo que a ventosa difere das demais por exigir a abertura simultânea das válvulas VE-2 e VE-3 (ver Figura 4.14).

Assim, a eficiência dos aparelhos destinados a minimizar o efeito do ar nas redes de distribuição e nos ramais prediais em situação de abastecimento após esvaziamento da rede, pôde ser determinada pela equação (4.2), mostrada a seguir:

$$E = 100 \times \left(1 - \frac{(V_2)_{etapa2}}{(V_2)_{etapa1}} \right) \quad (4.2)$$

em que:

E = eficiência do equipamento (%);

$(V_2)_{etapa2}$ = volume medido no hidrômetro H_2 sem o eliminador de ar (m^3);

$(V_2)_{etapa1}$ = volume medido no hidrômetro H_2 com o eliminador de ar (m^3).

A verificação do volume de ar medido na ligação predial, foi efetuada de modo análogo aos aparelhos testados, diferindo somente nos tempos de avaliação, no caso 180s e 300s e, na total ausência de auxílio dos aparelhos eliminadores e/ou redutores de ar.

4.4 Considerações Parciais

Neste capítulo, detalhou-se o aparato experimental denominado LEVR-AR (laboratório de ensaios de válvulas redutoras de ar), construído no CPH da UFMG, os equipamentos e as instalações utilizados na avaliação da eficiência dos aparelhos denominados eliminadores e bloqueadores de ar, além da ventosa instalada na rede de distribuição. Também foi estabelecida a metodologia de procedimentos para que se possa efetuar os testes dos aparelhos e válvulas redutoras de ar. Nos próximos capítulos, apresentam-se os aparelhos testados, os resultados obtidos e a análise da eficiência dos modelos testados, bem como as conclusões e recomendações para desenvolvimento posterior de outros trabalhos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Introdução

Conforme relatado no capítulo anterior, foram realizados três tipos de experimento. Os dois primeiros tiveram como objetivo principal verificar o teor de ar registrado pelo hidrômetro, inicialmente em condições normais de abastecimento de água e, posteriormente, quando o abastecimento ocorreu após total esvaziamento da tubulação. O terceiro tipo de teste avaliou três tipos de equipamento destinados à retirada de ar. Os resultados destes experimentos estão apresentados nos itens subseqüentes.

5.2 Ensaio em condições normais de operação sem válvula redutora de ar

A Tabela 5.1 contém os resultados obtidos na situação de abastecimento normal, relatada no subitem 4.3.2. Os valores de V_1 (volume medido no hidrômetro H_1), V_2 (volume medido no hidrômetro H_2) e V_R (volume medido no reservatório calibrado) correspondem à média de três valores obtidos, para a respectiva vazão e pressão mostradas nas duas primeiras colunas.

Tabela 5.1- Resultado dos testes realizados na situação normal de abastecimento.

Vazão m ³ /h	Carga de pressão mca	$V_1(H_1)$ m ³	$V_2(H_2)$ m ³	V_R m ³	V_1 / V_R	V_2 / V_R
0,59	10	0,02033	0,02038	0,01970	1,032	1,035
0,83	10	0,02864	0,02879	0,02760	1,038	1,043
1,22	10	0,03872	0,03859	0,03748	1,033	1,030
1,33	10	0,03790	0,03787	0,03717	1,020	1,019
1,37	10	0,03990	0,03984	0,03813	1,046	1,045
1,47	10	0,03800	0,03845	0,03684	1,031	1,044
0,17	50	0,00590	0,00557	0,00568	1,039	0,981
0,32	50	0,01489	0,01477	0,01436	1,037	1,029
0,57	50	0,01962	0,01913	0,01898	1,034	1,008
1,05	50	0,03582	0,03535	0,03496	1,025	1,011
1,44	50	0,04946	0,04836	0,04797	1,031	1,008
2,14	50	0,07307	0,07253	0,07142	1,023	1,016
2,49	50	0,07794	0,07693	0,07687	1,014	1,001
3,04	50	0,08149	0,07967	0,07803	1,044	1,021
Média					1,032	1,021
Desvio padrão					0,009	0,018

As duas últimas colunas mostram que as relações entre os volumes registrados nos hidrômetros e os volumes medidos no reservatório de calibração são bem próximas ao valor unitário, demonstrando assim, que nesta situação os volumes V_1 , V_2 e V_R são praticamente iguais. As divergências entre estes valores são inferiores aos erros normalmente verificados nos hidrômetros, conforme ilustrado pela Tabela 3.4. Como os valores medidos em V_R correspondem ao volume de água nas condições normais de temperatura e pressão, na qual o teor de ar é insignificante, pode-se concluir que nestas condições os valores de V_1 e V_2 registrados pelos hidrômetros correspondem também ao volume de água.

Ressalta-se ainda, que devido ao fato da perda de carga no ramal predial ser superior à carga piezométrica de 10mca estabelecida para o teste, não foi possível obter vazões superiores a $1,47\text{m}^3/\text{h}$.

5.3 Quantificação do volume de ar presente no ramal predial

Para verificar a influência do ar numa ligação predial, foram efetuados testes de desabastecimento seguido de abastecimento. Os testes foram efetuados com dois intervalos de tempo, 180 e 300s, para permitir a entrada em carga do sistema.

5.3.1 Quantificação do volume ar para intervalo de tempo de 180s-situação de desabastecimento sem abastecimento

As tabelas 5.2 e 5.3 apresentam os valores médios dos dados contidos nos apêndices 4 e 5, relativos aos volumes de água medidos no hidrômetro (V_2), que efetivamente chegam ao reservatório de calibração. Foram analisados os dados compreendidos entre $0,50$ e $1,50\text{m}^3/\text{h}$, uma vez que, para a vazão de referência de $0,18\text{m}^3/\text{h}$, o tempo de 180s foi insuficiente para que o sistema entrasse em carga.

Tabela 5.2- Vazões e velocidades de ar e de água verificados na ligação predial para a pressão de 10mca.

Vazão de referência (m ³ /h)	Volume (m ³)			Relação entre volumes (%)	
	$V_2 = V_{ar} + V_{água}$	$V_R = V_{água}$	$V_{ar} = V_2 - V_R$	V_{ar} / V_2	$V_{água} / V_2$
0,50	0,316	0,012	0,304	96,3	3,7
0,75	0,337	0,019	0,318	94,4	5,6
1,00	0,346	0,025	0,321	92,8	7,2
1,50	0,362	0,032	0,330	91,1	8,9

Tabela 5.3- Vazões e velocidades de ar e de água verificados na ligação predial para a pressão de 50 mca.

Vazão de referência (m ³ /h)	Volume (m ³)			Relação entre volumes (%)	
	$V_2 = V_{ar} + V_{água}$	$V_R = V_{água}$	$V_{ar} = V_2 - V_R$	V_{ar} / V_2	$V_{água} / V_2$
0,18	0,059	0,003	0,056	94,2	5,8
0,50	0,099	0,012	0,087	88,1	11,9
0,75	0,117	0,019	0,098	83,8	16,2
1,00	0,131	0,025	0,106	81,0	19,0
1,50	0,151	0,032	0,119	78,7	21,3

Nota-se pelos dados apresentados nas tabelas 5.2 e 5.3, nos experimentos realizados dentro da mesma faixa de vazão de referência, que os volumes de água que afluem ao reservatório calibrado são iguais para as pressões de 10 e 50mca. Com relação aos volumes de ar verificados para as vazões de referência entre 0,50 e 1,50m³/h, constata-se para a pressão de 10mca (pressão absoluta igual a 20mca) o volume médio de 0,32m³ e para 50mca (pressão absoluta de 60mca) o volume médio de ar igual a 0,10m³. Assim, para um aumento da pressão absoluta de quatro vezes, houve uma redução de volume de três vezes, aproximadamente, como seria de esperar pela lei de Boyle-Mariotte ($P_1V_1=P_2V_2$), supondo a temperatura constante durante os testes. As figuras 5.1 e 5.2 ilustram, por meio de gráfico, o volume (V_2) registrado no hidrômetro e o volume de água V_R que aflui ao reservatório, para os dados mostrados nas Tabelas 5.2 e 5.3, evidenciando, desta maneira, o erro cometido pelo hidrômetro ao medir o volume do escoamento bifásico ar e água.

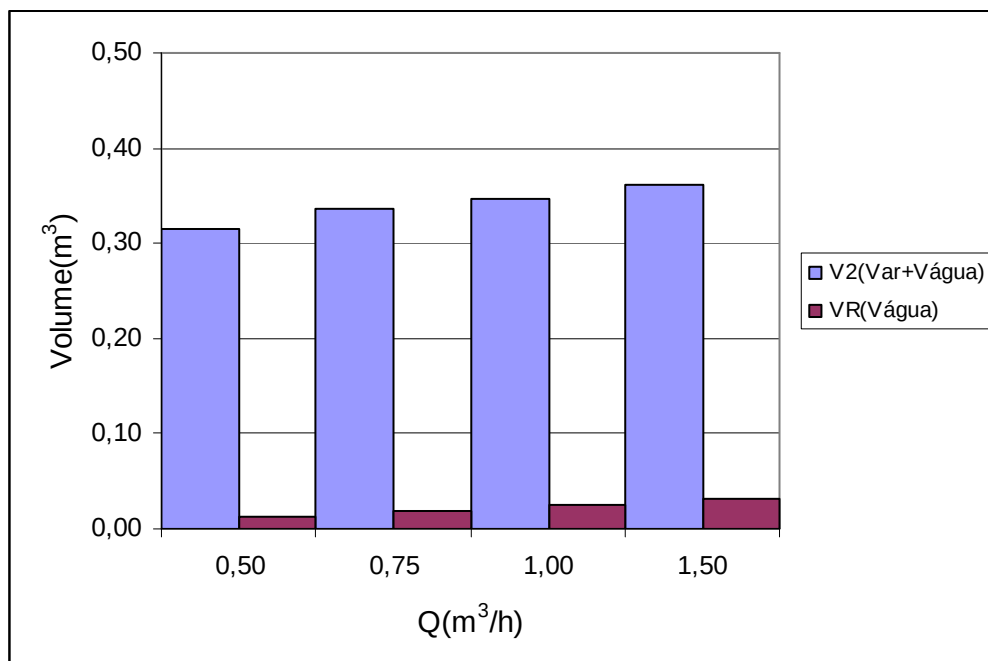


Figura 5.1- Volume registrado pelo hidrômetro *versus* volume do reservatório de calibração para pressão de 10mca e tempo de 180s.

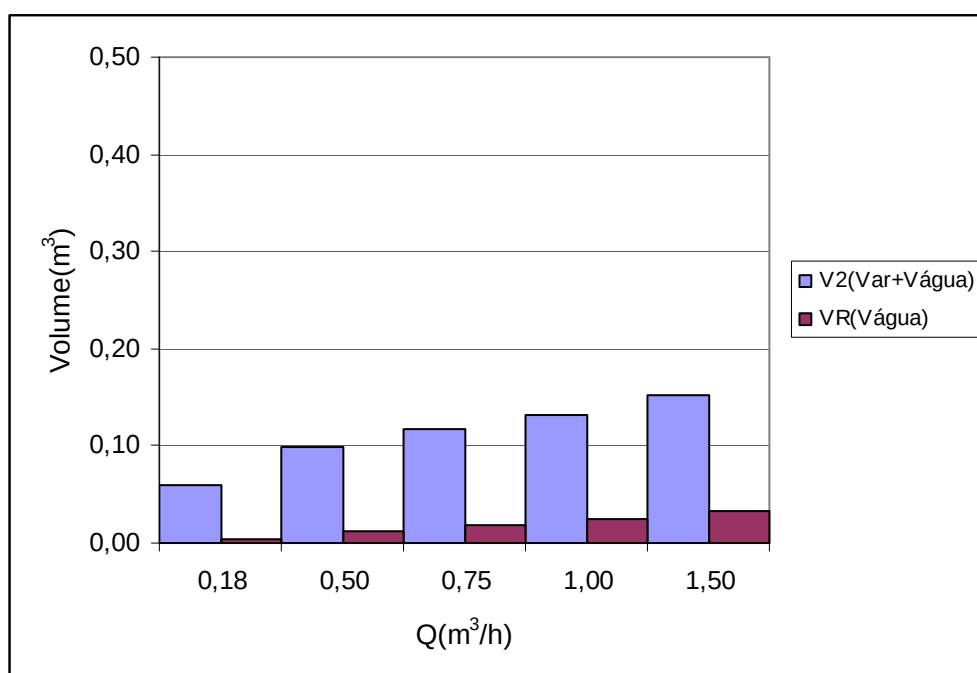


Figura 5.2- Volume registrado pelo hidrômetro *versus* volume do reservatório de calibração para pressão de 50mca e tempo de 180s.

As tabelas 5.4 e 5.5 mostram os valores de vazão (Q_{ref}) e de velocidade média (U) obtidos no ramal de 20mm de diâmetro e na rede de abastecimento de 100mm de diâmetro para a situação de teste relatada anteriormente. A razão entre a velocidade ($U_{ar+água}$) e a velocidade

de referência (U_{ref}) obtida com a tubulação plena de água variou de 4,83 a 12,63 vezes no ramal predial nos testes com pressão 10mca. Nos testes realizados com pressão de 50mca, esse valor variou entre 2,02 e 6,57 vezes.

Tabela 5.4- Vazões e velocidades de ar e de água verificados na ligação predial para a pressão de 10mca.

Vazão de referência (m ³ /h)	Velocidade de referência (m/s) $U_{ref.}^{(1)}$	Velocidades no teste (m/s)			$(U_{ar+água}/U_{ref.})^{(1)}$
		$U_{água}^{(1)}$	$U_{ar+água}^{(1)}$	$U_{ar+água}^{(2)}$	
0,50	0,44	0,21	5,59	0,22	12,63
0,75	0,66	0,33	5,96	0,24	8,98
1,00	0,88	0,44	6,11	0,24	6,91
1,50	1,33	0,57	6,41	0,26	4,83

Tabela 5.5: Vazões e velocidades de ar e de água verificados na ligação predial para a pressão de 50mca.

Vazão de referência (m ³ /h)	Velocidade de referência (m/s) $U_{ref.}^{(1)}$	Velocidades nos testes (m/s)			$(U_{ar+água}/U_{ref.})^{(1)}$
		$U_{água}^{(1)}$	$U_{ar+água}^{(1)}$	$U_{ar+água}^{(2)}$	
0,18	0,16	0,06	1,05	0,04	6,57
0,50	0,44	0,21	1,75	0,07	3,96
0,75	0,66	0,33	2,06	0,08	3,11
1,00	0,88	0,44	2,31	0,09	2,61
1,50	1,33	0,57	2,68	0,11	2,02

5.3.2 Quantificação do volume ar para intervalo de tempo de 300s-situação de desabastecimento sem abastecimento

Os dados obtidos no Apêndice 6 estão resumidos na Tabela 5.6 e são relativos aos volumes (V_2) medidos pelo hidrômetro (H_2) e os volumes de água (V_R) que efetivamente chegam ao reservatório calibrado, para os testes efetuados à pressão de 10mca. Os volumes de água representam 7,1 e 19,9% do volume registrado pelo hidrômetro para as vazões de teste de 0,18 a 1,50m³/h.

¹ Velocidade obtida no ramal predial de ϕ 20mm de diâmetro;

² Velocidade obtida na rede de distribuição de ϕ 100mm de diâmetro;

Não foram efetuados testes para a pressão de 50mca, uma vez que o recipiente calibrado não possuía capacidade suficiente para receber o volume de água aduzido pela bomba durante o intervalo de tempo de 300s.

Tabela 5.6- Vazões e velocidades de ar e de água verificados na ligação predial para a pressão de 10mca.

Vazão (m ³ /h)	Volume (m ³)			Relação entre volumes (%)	
	$V_2 = V_{ar} + V_{água}$	$V_R = V_{água}$	$V_{ar} = V_2 - V_R$	V_{ar} / V_2	$V_{água} / V_2$
0,18	0,048	0,003	0,045	92,9	7,1
0,50	0,348	0,036	0,312	89,6	10,4
0,75	0,377	0,051	0,326	86,4	13,6
1,00	0,391	0,064	0,327	83,6	16,4
1,50	0,409	0,081	0,328	80,1	19,9

A Figuras 5.3 ilustra, por meio de gráfico, o volume (V_2) registrado no hidrômetro e o volume de água V_R que aflui ao reservatório, para os dados mostrados nas Tabelas 5.6, evidenciando, desta maneira, o erro cometido pelo hidrômetro ao medir o volume do escoamento bifásico de ar e água.

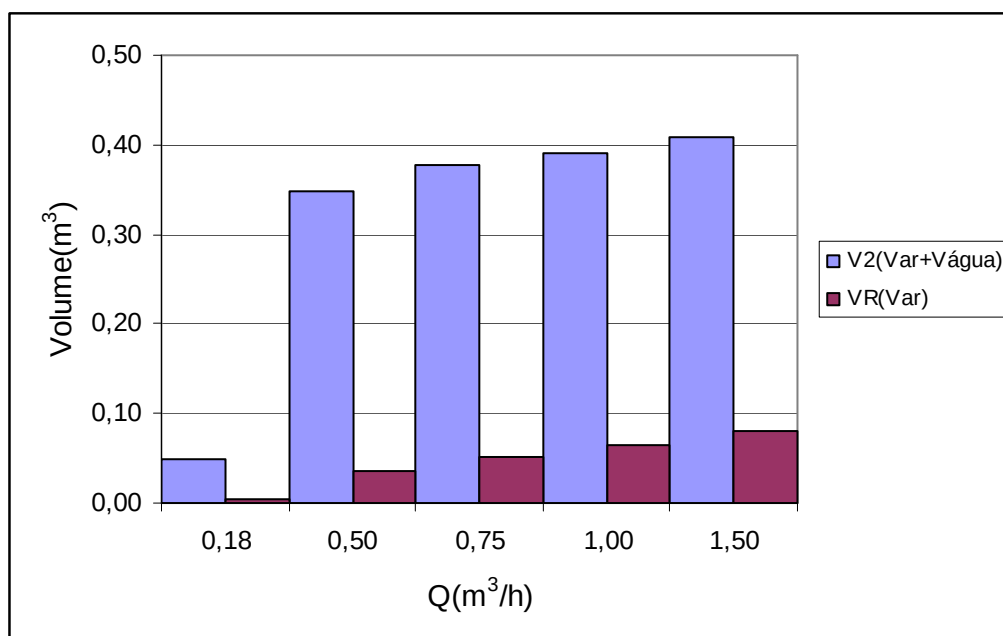


Figura 5.3- Volume registrado pelo hidrômetro *versus* volume do reservatório de calibração para pressão de 10mca e tempo de 300s.

Observa-se que o volume de ar registrado pelo hidrômetro segue a mesma tendência observada no teste com intervalo de tempo de 180s e pressão de 10mca. Devido ao aumento do intervalo de tempo de 180 para 300s, o volume de água aduzido ao recipiente calibrado aumentou, mas o volume de ar permaneceu praticamente o mesmo, em torno de $0,32\text{m}^3$. Este valor corresponde à capacidade de armazenamento no interior da tubulação à pressão de 10mca.

A tabela 5.7 contém os valores de vazão de referência (Q_{ref}) e de velocidade média (U) obtidos nos testes efetuados no ramal de 20mm de diâmetro e na rede de abastecimento de 100mm de diâmetro para a situação relatada anteriormente. As razões entre as velocidades ($U_{\text{ar+água}}$) obtidas no ramal predial no presente teste em relação às velocidades de referência (U_{ref}), obtidas nos testes em que a tubulação esteve plena de água, variou de 3,20 a 8,35 vezes, na pressão de 10mca.

Tabela 5.7- Vazões e velocidades de ar e de água verificados na ligação predial para a pressão de 10mca.

Vazão de referência (m^3/h)	Velocidade de referência (m/s) $U_{\text{ref.}}^{(1)}$	Velocidades nos testes (m/s)			
		$U_{\text{água}}^{(1)}$	$U_{\text{ar+água}}^{(1)}$	$U_{\text{ar+água}}^{(2)}$	$(U_{\text{ar+água}}/U_{\text{ref.}})^{(1)}$
0,18	0,16	0,04	0,51	0,02	3,20
0,50	0,44	0,39	3,70	0,15	8,35
0,75	0,66	0,54	4,01	0,16	6,04
1,00	0,88	0,68	4,15	0,17	4,69
1,50	1,33	0,86	4,34	0,17	3,27

O gráfico da Figura 5.4 ilustra a relação entre a velocidade média obtida no ramal predial ($U_{\text{ar+água}}^{(1)}$) e a velocidade de referência (U_{ref}) para os testes efetuados nos intervalos de tempo de 180 e 300s.

Conforme resultados apresentados nas tabelas 5.4 e 5.5, no intervalo de tempo de 180s, os valores de velocidade obtidos para o escoamento bifásico na rede de distribuição ($U_{\text{ar+água}}^{(2)}$) situam-se abaixo da velocidade mínima estabelecida por Koelle (0,30m/s) e por Veronese (0,59m/s) para movimentação dos bolsões de ar. No experimento efetuado para o intervalo de tempo de 300s (ver Tabela 5.7), a velocidade de escoamento do fluido bifásico ($U_{\text{ar+água}}^{(2)}$) é ainda menor que a velocidade registrada no tempo de 180s e pressão de 10mca. No

ramal predial todas as velocidades atenderam aos valores mínimos estabelecidos por Veronese para a movimentação dos bolsões de ar, à exceção do valor atípico correspondente à vazão de referência de $0,18\text{m}^3/\text{h}$ e velocidade $U_{\text{ar}+\text{água}(1)}$ igual a $0,51\text{m/s}$. Esta situação atípica pode também ser percebida no gráfico da Figura 5.4 mostrado a seguir para a vazão de referência de $0,18\text{m}^3/\text{h}$ e $(U_{\text{ar}+\text{água}}/U_{\text{ref}})^{-1}$ igual a 3,2. O gráfico evidencia também a tendência de diminuição da relação $(U_{\text{ar}+\text{água}}/U_{\text{ref}})^{-1}$ com relação ao crescimento das vazões de referência nos testes de 180s (pressões iguais a 10 e 50mca) e 300s (pressão igual a 10mca). Observa-se também que as curvas com os valores extremos da relação $U_{\text{ar}+\text{água}}/U_{\text{ref}}$ foram obtidas nos testes realizados com tempo de 180s.

À pressão de 10mca foram obtidos os maiores valores da relação, causados, provavelmente, pelo erro do hidrômetro ao medir maior quantidade de ar escoado durante os testes com essa pressão.

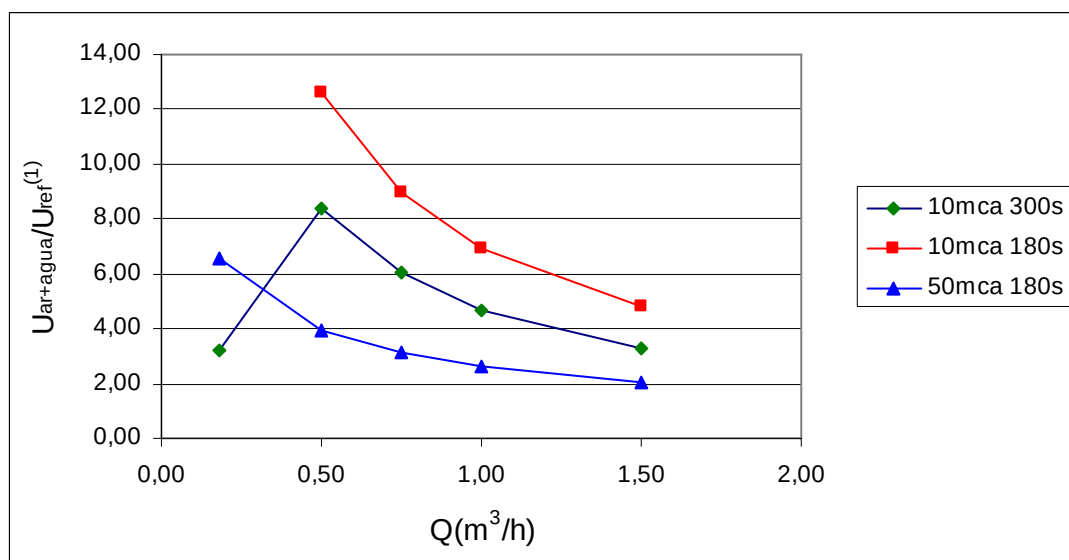


Figura 5.4- Comparativo de velocidades

5.4 Testes com aparelhos redutores de ar

5.4.1 “Eliminador de ar”

Foram efetuados testes com dois aparelhos da mesma marca com a finalidade de obtenção de dados que pudessem verificar sua eficiência na retirada de ar existente no interior da tubulação em situação de desabastecimento. Os valores obtidos estão fundamentados na média de 5 valores de eficiência, sendo que a tabela de dados encontra-se nos apêndices 4 e 5. Os resultados resumidos estão ilustrados pela Tabela 5.8:

Tabela 5.8- Eficiência do aparelho eliminador de ar.

Vazão (m ³ /h)	Eficiência (%)	
	10mca	50mca
0,18	98,9	56,0
0,50	94,1	42,0
0,75	67,4	38,0
1,00	69,4	38,0
1,50	59,0	36,5

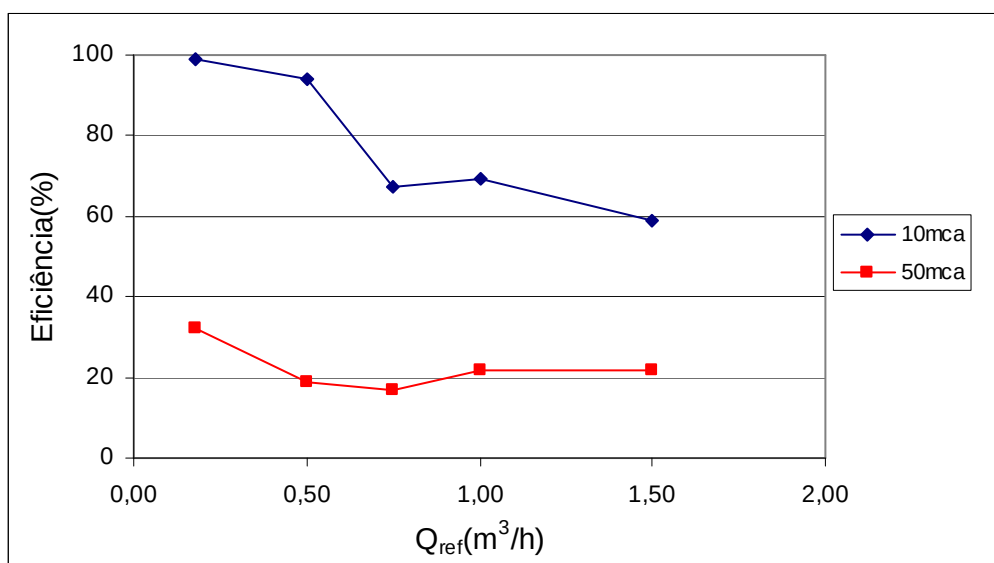


Figura 5.5- Comparativo de eficiência em pressões extremas do aparelho eliminador de ar.

Analisando-se o gráfico da Figura 5.5, observa-se que na pressão de 50mca, houve uma perda de eficiência mais suave do que a ocorrida à pressão de 10mca, seguindo uma tendência de estabilização. No intervalo compreendido entre as vazões de 0,50 e 0,75m³/h ocorreu uma queda mais acentuada para a pressão de teste de 10mca.

Chega-se portanto a conclusão, que o “eliminador de ar” possui maior eficiência quando sua operação ocorre na faixa de vazão de $0,18\text{m}^3/\text{h}$ e com a pressão mínima de 10mca. À medida que a vazão de referência aumenta conjuntamente com a pressão, ocorre uma significativa perda de eficiência do aparelho.

5.4.2 “Bloqueador de ar”

Foram efetuados testes com dois aparelhos da mesma marca, cuja montagem é efetuada imediatamente a jusante do hidrômetro, preferencialmente na posição horizontal, segundo instruções do fabricante. Os testes foram realizados de acordo com as condições hidráulicas estabelecidas no subitem 4.3.3. Os resultados mostrados na Tabela 5.9 estão baseados na média de 5 valores de eficiência. A completa relação de dados encontra-se nos apêndices 8 e 9.

Tabela 5.9- Eficiência de aparelho bloqueador de ar

Vazão (m^3/h)	Eficiência (%)	
	10mca	50mca
0,18	39,2	26,9
0,50	28,1	16,2
0,75	31,9	15,5
1,00	22,2	14,6
1,50	22,5	47,8

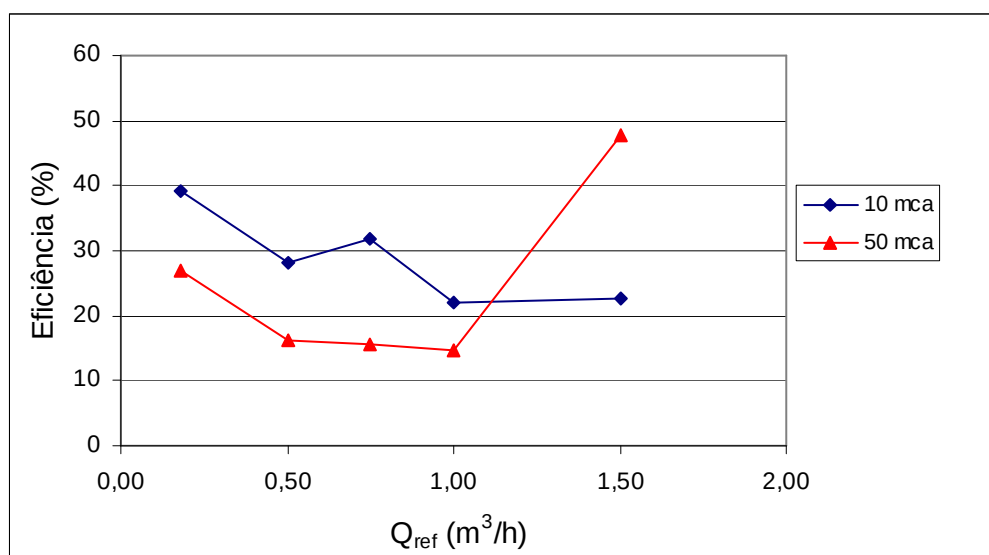


Figura 5.6- Comparativo da eficiência do aparelho bloqueador de ar.

Analisando-se o gráfico da Figura 5.6, observa-se que a eficiência do “bloqueador de ar” possui comportamento semelhante para as faixas de pressão testadas. Em relação à última faixa de vazão ($1,50\text{m}^3/\text{h}$), houve um aumento significativo da eficiência, superando inclusive a tendência de ocorrência de eficiências melhores em faixas de vazões menores.

5.4.3 “Ventosa”

Foram efetuados testes com a “ventosa” instalada do final da tubulação de 100 mm, logo a montante do ramal predial, com a finalidade de comparar a eficiência deste equipamento com os outros dois tipos de aparelhos testados. Os testes foram efetuados segundo as mesmas condições hidráulicas estabelecidas para os outros aparelhos. Os resultados mostrados na Tabela 5.10 foram baseados na média de 5 valores de eficiência. Nos apêndices 10 e 11 encontram-se os dados completos dos testes realizados.

Tabela 5.10- Eficiência da ventosa

Vazão (m^3/h)	Eficiência (%)	
	10mca	50mca
0,18	31,9	13,1
0,50	17,9	0,0
0,75	15,3	0,0
1,00	22,2	0,0
1,50	21,8	48,1

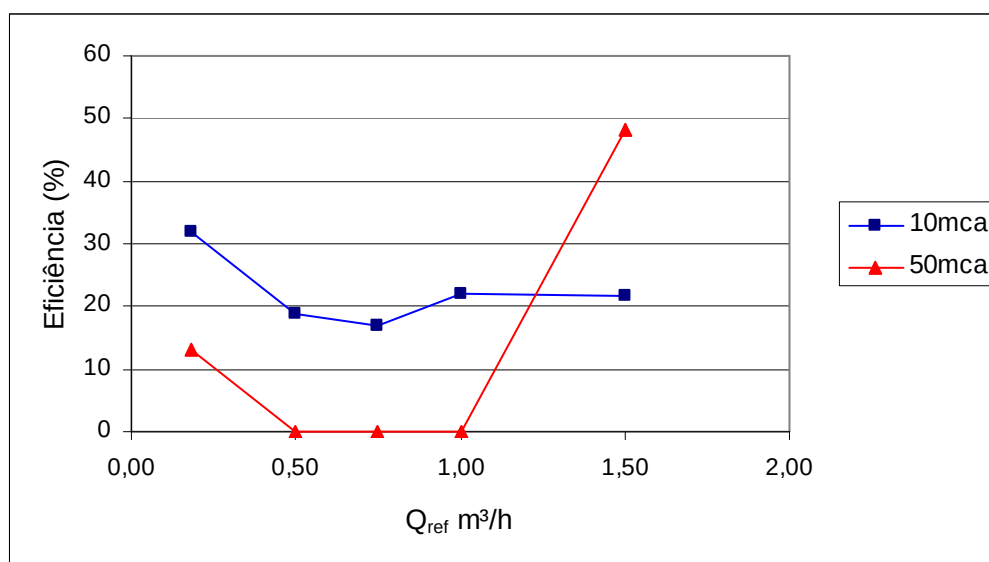


Figura 5.7- Comparativo da eficiência da ventosa

Analisando-se o gráfico da Figura 5.7, observa-se semelhança no comportamento da eficiência para as pressões de teste estabelecidas (10 e 50mca). Para a pressão de teste de 50mca e na faixa de vazão de referência compreendida entre os valores de 0,50 e 1,00m³/h a eficiência do aparelho foi representada por valor nulo. Uma hipótese para ocorrência desse valor se deve a uma provável aderência do flutuador ao anel de vedação do orifício de saída de ar durante a realização dos testes. Esse problema pode ter ocorrido de duas maneiras: primeiramente, em curto intervalo de tempo, e depois, durante todo o intervalo de tempo estabelecido para o teste, impedindo totalmente a saída do ar existente na rede de abastecimento. Em relação à última faixa de vazão observada (1,50m³/h), houve um aumento significativo da eficiência para os testes efetuados a pressão de 50mca, superando inclusive a tendência de ocorrência de eficiências melhores em faixas de vazão menores. Atribui-se este aumento da eficiência as características de projeto do aparelho, que opera melhor quando as velocidades de escoamento do fluido bifásico são maiores, a exemplo do que ocorreu com o “bloqueador de ar”.

5.5 Comparação entre as eficiências dos aparelhos testados

Os resultados dos testes efetuados com os aparelhos amostrados e ilustrados pela Tabela 5.11, mostram o desempenho superior do “eliminador de ar” em relação aos demais quando operados dentro das mesmas condições hidráulicas.

Tabela 5.11- Tabela comparativa de eficiência eliminador, ventosa e bloqueador de ar para pressão de teste de 10mca.

Vazão (m ³ /h)	Eficiência (%)		
	Eliminador	Ventosa	Bloqueador
0,18	98,9	31,9	39,2
0,50	94,1	17,9	28,1
0,75	67,4	15,3	31,9
1,00	69,4	22,2	22,7
1,50	59,0	21,8	22,5

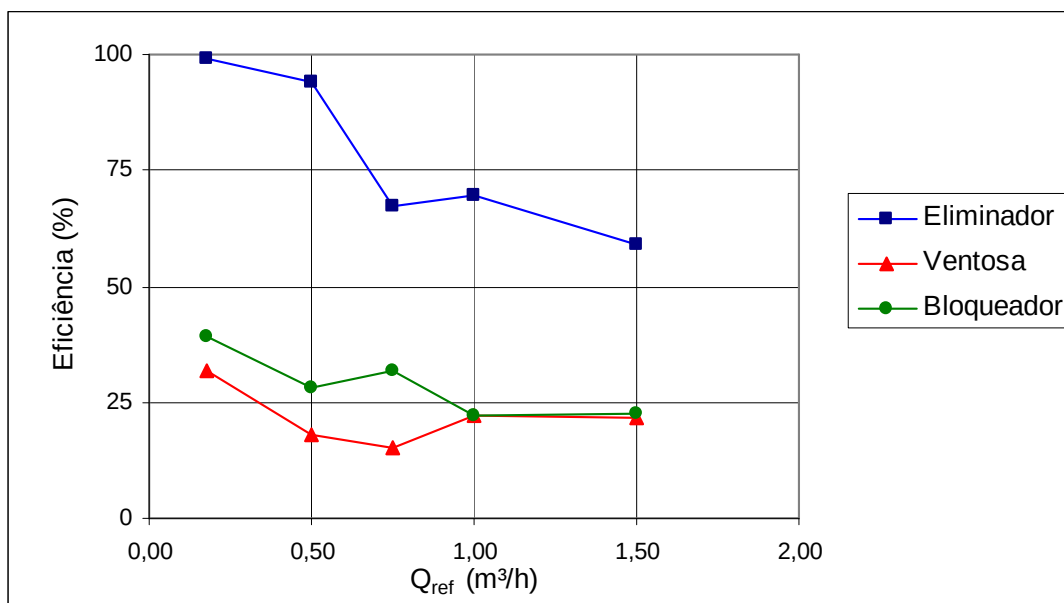


Figura 5.8- Gráfico eficiência *versus* vazão para pressão de 10mca.

O gráfico da Figura 5.8 ilustra as curvas de eficiência dos três aparelhos amostrados. Nota-se em todos eles, uma tendência de perda de eficiência a partir do momento em que a vazão operacional é aumentada. No caso do “eliminador de ar”, a tendência de redução da eficiência é mais acentuada na faixa compreendida entre as vazões 0,50 e 0,75m³/h. Nos outros dois aparelhos amostrados, a tendência de perda é mais suave, convergindo para a eficiência de 22%, aproximadamente.

Os resultados dos testes efetuados com a pressão de 50mca e ilustrados pela Tabela 5.12, mostram novamente o desempenho superior do “eliminador de ar” em relação aos demais aparelhos quando operados dentro das mesmas condições hidráulicas.

Tabela 5.12- Tabela comparativa de eficiência eliminador, ventosa e bloqueador de ar para pressão de teste de 50mca.

Vazão (m³/h)	Eficiência (%)		
	Eliminador	Ventosa	Bloqueador
0,18	56,0	13,1	26,9
0,50	42,0	0,0	16,2
0,75	38,0	0,0	15,5
1,00	38,0	0,0	14,6
1,50	36,5	48,1	47,8

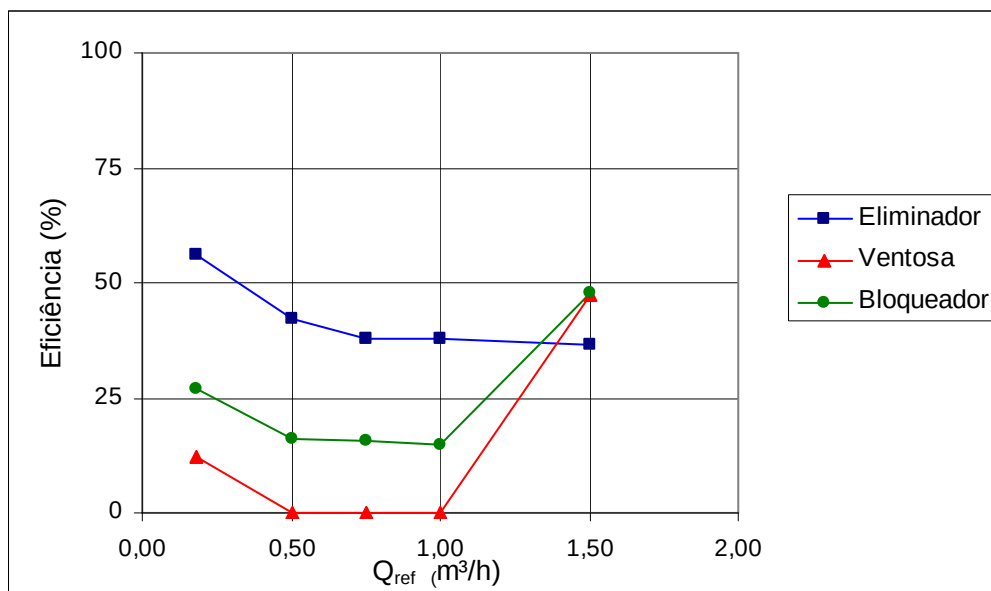


Figura 5.9- Gráfico vazão/eficiência para pressão de 50mca.

A Figura 5.9 ilustra as curvas comparativas dos três aparelhos amostrados. Nota-se em todos eles, uma tendência de perda de eficiência a partir do momento em que a vazão de referência é aumentada. Nos aparelhos amostrados, ocorre uma queda suave da eficiência até a vazão de $0,50\text{m}^3/\text{h}$, a partir da qual o valor da eficiência permanece estável até a vazão de $1,0\text{m}^3/\text{h}$. Os testes efetuados para a vazão de referência de $1,50\text{m}^3/\text{h}$ mostram um sensível aumento da eficiência para o “bloqueador de ar” e para a “ventosa”, com ambos tendendo para a eficiência de 47%. Uma justificativa para a melhoria das eficiências da “ventosa” e do bloqueador de ar para essa vazão pode estar relacionada com as características de projeto deste equipamento mais apropriadas para essa faixa de vazão e pressão.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho teve por objetivo avaliar em laboratório o volume de ar medido na ligação predial de água, montada numa bancada de teste, onde foram simuladas as situações de abastecimento e de desabastecimento de água, conforme relatado no Capítulo 4. Adicionalmente, foram efetuados testes para avaliar a eficiência e aplicabilidade de válvulas redutoras de ar em ligações prediais, uma vez que a Lei Estadual 12.645/97 permite aos consumidores de água de Minas Gerais a instalação desses equipamentos. Além da avaliação desses aparelhos, verificou-se a eficiência de uma ventosa, colocada a jusante e no ponto alto da rede de abastecimento de água.

Primeiramente foram efetuados testes em condições normais de abastecimento. Os resultados mostraram que os volumes registrados pelos hidrômetros e pelo recipiente calibrado situam-se bem próximos ao valor unitário, demonstrando assim que os volumes V_1 , V_2 e V_R são praticamente iguais. As divergências entre estes valores são inferiores aos erros normalmente verificados pelos hidrômetros, conforme ilustrado na Tabela 3.5. Como os valores medidos em V_R correspondem ao volume de água nas condições normais de temperatura e pressão, na qual o teor de ar é insignificante, pode-se concluir que nestas condições os valores de V_1 e V_2 registrados pelos hidrômetros correspondem também ao volume de água.

Nos testes de desabastecimento, ou seja, de abastecimento de água após esvaziamento total da rede da bancada de teste, pôde-se constatar que:

- O volume de água que chega ao reservatório calibrado em relação ao volume medido pelo hidrômetro foi:
 - 4% a 9% para os testes de 180 s e pressão de 10mca
 - 6% a 21% para os testes de 180 s e pressão de 50mca
 - 7% a 20% para os testes de 300 s e pressão de 10mca
- A velocidade ($U_{ar+água}$) no ramal predial em relação à velocidade de referência (U_{ref}) obtida na mesma tubulação plena de água foi:
 - 4,8 a 12,6 vezes nos testes de 180 s e pressão 10mca
 - 2,0 a 6,6 vezes nos testes de 180 s e pressão de 50mca
 - 3,2 a 8,4 vezes nos testes de 300 s e pressão 10mca

- Os resultados acima evidenciam os erros cometidos pelo hidrômetro ao medir o volume do escoamento bifásico ar e água.

Os testes efetuados com as válvulas redutoras de ar instaladas no ramal predial tiveram comportamentos diferenciados, dependentes da vazão e da pressão. Em geral, houve uma tendência de perda de eficiência com o aumento da vazão e da pressão de trabalho. É importante salientar que estas válvulas não tiveram influência na precisão dos hidrômetros.

Dentre as válvulas testadas, o “eliminador de ar” apresentou melhor eficiência, em termos percentuais na retirada de ar, principalmente para as menores vazões. Já o “bloqueador de ar”, além de possuir desempenho inferior ao “eliminador de ar” testado, ao bloquear o ar transportado pela rede de abastecimento pode contribuir para que os bolsões de ar contidos no ramal predial retornem à rede de abastecimento, influenciando assim, no registro de ar por uma outra estrutura de medição próxima.

O terceiro aparelho testado, a “ventosa”, apresentou baixos valores de eficiência na retirada de ar para as duas faixas de pressão estabelecidas. Em relação aos outros aparelhos testados, a “ventosa” possui desempenho inferior “bloqueador de ar” e muito inferior ao desempenho do “eliminador de ar”.

Conforme ilustrado pela Tabela 5.3, a menor vazão de referência utilizada nos testes é a que registra o maior volume de ar pelo hidrômetro. O resultado leva a supor que os consumidores situados na menor faixa de consumo são os mais prejudicados pela situação de desabastecimento. Considerando ainda que, os menores consumos estão relacionados às menores faixas de renda, a aquisição de qualquer aparelho destinado a reduzir o ar nas ligações prediais seria muito onerosa para os consumidores.

A solução socialmente mais justa seria a instalação de “ventosas” por atender um maior número de consumidores. Além disso, é dever das concessionárias dotarem as redes de abastecimento de aparelhos destinados a retirar o ar das tubulações. Entretanto, tendo em vista a baixa eficiência desse equipamento, recomenda-se o desenvolvimento de válvulas redutoras de ar com melhor desempenho e a instalação dessas nos pontos recomendados na literatura técnica.

Ressalta-se ainda que, o hidrômetro foi projetado para trabalhar com água, preferencialmente afogado, condições em que o mesmo desempenha suas funções de acordo com Normas NM 212 e NBR 8009. Assim sendo, ou se retira o ar existente das redes de abastecimento de água ou se utiliza outro tipo de medidor que não seja influenciado pela presença de ar.

Há que se ressaltar que os testes efetuados referem-se aos aparelhos testados com suas respectivas características construtivas, não podendo os resultados aqui obtidos serem generalizados para outros tipos de aparelhos. Deve-se levar em conta ainda que, o volume de ar medido nos testes é próprio da bancada de teste. Assim, em relação às redes de abastecimento, o volume de ar conduzido ao ramal predial dependerá do diâmetro e da extensão das tubulações e da existência ou não de aparelhos destinados a eliminar o ar das mesmas. A extensão de rede sem proteção poderá afetar não somente um ramal predial, mas um conjunto de ramais abastecidos por aquele conjunto de tubulações.

Além da normatização, são necessários estudos buscando a melhoria de desempenho de ventosas, afim de que o ar seja eliminado antes de ser conduzido aos ramais prediais. É desejável, ainda, o desenvolvimento de um medidor para ramais prediais que não sofra influência do ar na aferição dos volumes registrados.

Para facilitar e dar maior precisão às medidas nos testes recomenda-se também a melhoria do aparato experimental, com a substituição da válvula RP1 por outra de controle automático de vazão. A substituição do reservatório de calibração por outro de maior volume irá permitir testes com tempo de duração maior, possibilitando verificar o comportamento das válvulas em todas as faixas de vazão previstas. Além disso, a instalação de instrumentos para aquisição de dados permitirá o controle das condições estabelecidas na metodologia durante os ensaios.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Hidrômetro taqueométrico para água fria até 15,0 m³/h de vazão nominal - NBR 8009. Terminologia. 3p. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS Hidrômetro taqueométrico para água fria até 15,0m³/h de vazão nominal - NBR 8194. Padronização. 6p. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS Instalação Predial de Água Fria – NBR 5626. 41p. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público - NBR 12218. Rio de Janeiro, 1994.

AWWA. Air Release, Air/ Vacuum and Combination Air Valves, AWWA Manual M51, 1st Edition, American Water Works Association, Denver, U.S.A. p37. 2001.

AZEVEDO NETTO, *et al*; Manual de Hidráulica, 8 edição, Editora Edgard Blucher, São Paulo, 1998.

AZEVEDO NETTO, *et al*;; São Paulo, Técnica de abastecimento e tratamento de água. São Paulo: CETESB, 1976.

BALUTTO, A. Air valve technology reviewd, Introducing controlled air transferred technology, www.ventomat.co.za., 1996.

BARBARÁ, Companhia Metalúrgica Bárbara, Catálogo 1998.

CAESB, Companhia de saneamento ambiental do distrito federal, Resultados dos testes com válvulas eliminadoras de ar, www.caesb.df.gov.br, 2005.

COELHO, A.C. Medição e controle de perdas, Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES 1983.

COPASA, companhia de saneamento de Minas Gerais, tudo o que você precisa saber sobre eliminadores de ar, www.copasa.com.br, 2006.

CORCOS, G. Air in water pipes, Agua Para La Vida, 2nd Edition. www.aplv.com, 2003.

DEWHIRST, R.A., Optimising the use of air valves in piped water systems, Master of Engineering Thesis, Department of Civil Engineering, University of Auckland, Auckland, New Zealand, 1991.

DOUGLAS, J. F; GASIOREK, J. M; SWAFFIELD, J. A. Fluid mechanics. 2nd. ed. New York: Longman Scientific & Technnical, pp818, 1985

EDMUNDS, R.C. Air binding in pipes, Journal AWWA, Water Thechnology Distribution, pp 273-277, 1979.

FALVEY, H.T. Air-water flow in hydraulic systems, United States Bureau of Reclamation, Engineering monograph No 41, 1980.

FREITAS, A.J. Arejamento de Água para Abastecimento Público e Industrial, Edições Engenharia, Belo Horizonte, 1970.

ISSA, R.I., and KEMPF, M.H.W. Simulation of slug flow in horizontal and nearly horizontal pipes with the two-fluid model, International Journal of Multiphase Flow, Vol. 29, pp 65- 99, 2003.

KALINSKE, A.A., and BLISS, P.H., Removal of air from pipelines by flowing water, ASCE, Vol. 13, N° 10, pp 480-482, 1943.

KALINSKE, A.A., and ROBERTSON, J.M. Closed conduit flow, ASCE Vol. 108, pp 1453-1516, 1943.

KENT, J.C. The entrainment of air by water flowing in circular conduits with downgrade slopes. Doctoral Thesis, University of California, Berkley, Califórnia, 1952.

LEAL, F.C.T, TEIXEIRA, J.C. O ar nas contas de água. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. 6, N° 3, p 96-97, 2001.

LEAL, F.C.T.; TEIXEIRA, J.C. Avaliação da eficácia e da possibilidade de contaminação da água em eliminadores de ar fabricados em polipropileno quando instalados em cavaletes de água potável-Estudo de caso: Juiz de Fora-MG. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. 9, p 187-192, 2004.

LITTLE, M.J. Air Transport in Water and Effluent Pipelines, 2nd Internacional Conference on Marine Waste Discharges, Istambul, pp 16-20, 2002.

MELLO, E.J.; FARIAS, R.L. O ar e sua influência na medição do consumo de água. In: Anais do 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, João Pessoa, 2001.

NOGAMI, P.S. Ligações Prediais e Medidores. Capítulo 15. In: Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água, Volume I, 2ª Edição, CETESB, São Paulo, 1976. p., 527-549.

QUINTELA, A.C. Hidráulica, Fundação Calouste Gulbenkian, 2ª Edição, Lisboa, 1981, p. 177-218.

RECH, A.L. Água: Micro medição e Perdas. São Paulo: Editora Scortecci, 2ª Edição, ISBN 85-7372-231-2 1999. 189p, 1999.

SALIH, M.A. Entrained air in linearly accelerating water flow, ASCE, Journal of Hydraulics Division, Vol 106, HY 10, pp 1595-1605, 1980.

SOUZA, R.S.; POLIZER, M.; RONDON, M.A.C.; DO VAL, L.A.A.; GONDA, J. Avaliação da influência de um equipamento eliminador de ar na medição do consumo de água numa rede de distribuição. In: Anais do I SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS SUL-SUDESTE, Set. 2006, Curitiba.

TSUTIYA, M.T. Abastecimento de Água, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2ª Edição, São Paulo, 2005.p 156-192.

VERONESE, A.. citado por WISNER, P.E.; MOSHEN, F.N.; KOUWEN, N. Sul motto delle bolle d'aria nelle condotte d'acqua, estrato del fascicolo X, Vol. XIV, p XV, 1937.

WISNER, P.E.; MOSHEN, F.N.; KOUWEN, N. Removal air from water lines by hydraulic means, ASCE, Journal of Hydraulics Division, Vol 101, HY2, pp 243-257, 1975.

ZLOCZOWER, NAFTALI, Pressure surges and air valve specification, location and sizing, www.arivalves.com, 2000.

APÊNDICES

APÊNDICE 1: Tabela de dados de aferição dos hidrômetros

Teste	Leitura dos Hidrômetros do Ramal de 3/4" (m³)						Aferição		
	H1			H2			Tempo s	Altura m	$\Delta V3$ m³
	Inicial	Final	$\Delta V1$	Inicial	Final	$\Delta V2$			
1	Nulo								
2	Nulo								
3	Nulo								
4	Nulo								
5	Nulo								
6	5,82415	5,87011	0,04596	6,18253	6,22805	0,04552	120,0	0,883	0,04538
7	5,88005	5,89631	0,01626	6,23885	6,25401	0,01516	120,0	0,293	0,01506
8	5,89631	5,89835	0,00204	6,25401	6,25605	0,00204	120,0	0,046	0,00236
9	5,89835	5,90005	0,00170	6,25605	6,25767	0,00162	120,0	0,036	0,00183
10	Nulo								
11	6,07347	6,15449	0,08102	6,42954	6,50932	0,07978	115,9	1,540	0,07914
12	6,17780	6,22465	0,04685	6,53235	6,57863	0,04628	120,0	0,900	0,04625
13	6,29042	6,34701	0,05659	6,64358	6,69957	0,05599	120,0	1,072	0,05509
14	6,35796	6,41617	0,05821	6,71031	6,76765	0,05734	120,0	1,110	0,05705
15	6,41617	6,48106	0,06489	6,76765	6,83158	0,06393	121,0	1,225	0,06296
16	6,48106	6,55810	0,07704	6,83158	6,90744	0,07586	112,6	1,460	0,07503
17	6,56306	6,63982	0,07676	6,91233	6,98790	0,07557	121,0	1,460	0,07503
18	6,65100	6,72164	0,07064	6,99887	7,06854	0,06967	120,7	1,350	0,06938
19	6,72164	6,76662	0,04498	7,06854	7,11296	0,04442	120,7	0,860	0,04420
20	6,76662	6,81828	0,05166	7,11296	7,16404	0,05108	120,0	0,985	0,05062
21	6,81828	6,85769	0,03941	7,16404	7,20302	0,03898	120,5	0,755	0,03880
22	6,85769	6,88881	0,03112	7,20302	7,23375	0,03073	120,0	0,587	0,03017
23	6,88881	6,91361	0,02480	7,23375	7,25826	0,02451	120,7	0,473	0,02431
24	6,91620	6,93740	0,02120	7,26178	7,28170	0,01992	120,4	0,385	0,01979
25	6,93740	6,95130	0,01390	7,28170	7,29545	0,01375	120,4	0,260	0,01336
26	6,95130	6,96226	0,01096	7,29545	7,30630	0,01085	119,7	0,205	0,01054
27	6,96226	6,96474	0,00248	7,30630	7,30875	0,00245	121,4	0,048	0,00247
28	6,97895	7,05235	0,07340	7,32330	7,39529	0,07199	92,7	1,385	0,07118
29	7,05235	7,09096	0,03861	7,39529	7,43345	0,03816	120,5	0,732	0,03762

APÊNDICE 2: Tabela de dados de aferição do registro de pressão: 10 mca.

Testes : Primeira bateria de testes						
Tempo s	Altura (m)		$\Delta V3$ m ³	Q3 m ³ /h	Ângulo do registro	Rotação rpm
	Inicial	Final				
60,00	0,246	0,246	0,00000	0,000	0	1340
60,00				0,000	15	1340
60,00	0,573	0,578	0,00026	0,015	30	1340
60,00	0,578	0,596	0,00093	0,056	45	1340
60,00	0,762	0,799	0,00190	0,114	60	1380
60,00	0,799	0,852	0,00272	0,163	75	1385
60,00	0,892	1,020	0,00658	0,395	90	1390
60,00	1,165	1,304	0,00714349	0,429	105	1395
60,00	0,705	0,878	0,00889082	0,533	120	1400
60,00	1,015	1,220	0,01054	0,632	135	1407
60,00	0,595	0,799	0,01048	0,629	150	1412
60,00	0,857	1,065	0,01069	0,641	165	1412
60,00	1,116	1,343	0,01167	0,700	180	1414
60,00	0,348	0,599	0,01290	0,774	195	1414
60,00	0,659	0,910	0,01290	0,774	210	1417
60,00	0,972	1,234	0,01346	0,808	225	1421
60,00	0,480	0,758	0,01429	0,857	240	1428
57,00	0,837	1,107	0,01388	0,876	255	1431
60,00	1,170	1,465	0,01516	0,910	270	1434
60,00	0,670	0,977	0,01578	0,947	285	1438
60,00	1,064	1,391	0,01681	1,008	300	1441
60,00	0,240	0,584	0,01768	1,061	315	1446
60,00	0,656	1,018	0,01860	1,116	330	1452
60,00	1,141	1,518	0,01937	1,162	345	1461
60,00	0,322	0,709	0,01989	1,193	360	1465
60,00	0,800	1,201	0,02061	1,236	375	1472
51,00	1,301	1,652	0,01804	1,273	390	1482
60,00	0,202	0,633	0,02215	1,329	405	1490
60,00	0,697	1,134	0,02246	1,347	420	1496
60,00	1,191	1,635	0,02282	1,369	435	1501
60,00	0,529	0,972	0,02277	1,366	450	1502
60,00	1,045	1,498	0,02328	1,397	495	1506
60,00	0,311	0,769	0,02354	1,412	540	1506
60,00	0,289	0,318	0,00149	0,089	45	1340
60,00	0,822	0,898	0,00391	0,234	90	1376
60,00	0,898	0,972	0,00380	0,228	90	1376

Testes : Segunda bateria de testes						
60,00	0,000	0,000	0,00000	0,000	0	1292
60,00	0,000	0,000	0,00000	0,000	15	1292
60,50	0,389	0,390	0,00005	0,003	30	1292
59,87	0,391	0,397	0,00031	0,019	45	1300
59,74	0,405	0,416	0,00057	0,034	60	1304
59,46	0,422	0,440	0,00093	0,056	75	1304
59,78	0,450	0,475	0,00128	0,077	90	1308
60,39	0,501	0,551	0,00257	0,153	105	1310
60,49	0,723	0,791	0,00349	0,208	120	1323
60,27	0,885	0,980	0,00488	0,292	135	1334
60,07	1,161	1,272	0,00570	0,342	150	1348
62,03	0,198	0,370	0,00884	0,513	165	1350
60,30	0,584	0,773	0,00971	0,580	180	1360
60,13	0,965	1,174	0,01074	0,643	195	1370
60,74	0,730	0,966	0,01213	0,719	210	1380
60,25	1,043	1,300	0,01321	0,789	225	1385
60,43	0,338	0,607	0,01382	0,824	240	1388
60,44	1,019	1,300	0,01444	0,860	255	1392
60,20	0,274	0,560	0,01470	0,879	270	1395
60,80	0,595	0,883	0,01480	0,876	285	1395
60,64	1,118	1,430	0,01603	0,952	300	1401
59,86	0,205	0,537	0,01706	1,026	315	1406
60,16	0,755	1,082	0,01681	1,006	330	1409
60,38	0,528	0,865	0,01732	1,033	345	1416
60,00	1,021	1,383	0,01860	1,116	360	1420
60,00	0,652	1,035	0,01968	1,181	375	1432
60,54	0,346	0,741	0,02030	1,207	390	1434
60,58	1,042	1,447	0,02081	1,237	405	1438
58,65	0,419	0,812	0,02020	1,240	420	1443
60,10	0,945	1,360	0,02133	1,278	435	1446
78,23	0,214	0,761	0,02811	1,294	450	1450
60,57	1,100	1,540	0,02261	1,344	495	1458
61,16	0,416	0,863	0,02297	1,352	540	1462

APÊNDICE 3: Tabela de dados de aferição do registro de pressão: 50 mca.

Testes realizados						
Tempo s	Altura (m)		$\Delta V3$ m ³	Q3 m ³ /h	Ângulo do registro	Rotação rpm
	Inicial	Final				
60,00			0,00000	0,00000	0	0
60,00	0,130	0,140	0,00051	0,000	15	2895
60,00	0,140	0,190	0,00257	0,154	30	2895
60,00	0,190	0,300	0,00565	0,339	45	2895
60,00	0,300	0,482	0,00935	0,561	60	2895
60,00	0,482	0,737	0,01310	0,786	75	2950
60,00	0,737	1,080	0,01763	1,058	90	2950
60,00	1,080	1,462	0,01963	1,178	105	2950
60,00	0,125	0,582	0,02349	1,409	120	2950
60,00	0,582	1,096	0,02642	1,585	135	2977
60,00	1,096	1,639	0,02791	1,674	150	2977
60,00	0,085	0,639	0,02847	1,708	165	2977
60,00	0,710	1,310	0,03084	1,850	180	3000
60,00	0,156	0,845	0,03541	2,125	225	3000
60,00	0,845	1,608	0,03921	2,353	270	3000
60,00	0,085	0,953	0,04461	2,676	315	3000
60,00	0,115	1,027	0,04687	2,812	360	3000
60,00	0,115	1,065	0,04882	2,929	450	3000
60,00	0,127	1,115	0,05078	3,047	540	3000

APÊNDICE 4: Quantificação do volume de ar medido em ligação predial após desabastecimento com tempo de 180s e pressão de 10 mca.

Pressão de Trabalho = 10 mca				Teste	16/ago	Abertura	
Teste	Rotação: 1347 rpm			Abertura		80°	
	Vazão = 0,18m³/h			Recipiente calibrado			
				Tempo	Altura (m)		ΔV3
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	m3
1	58,95554	59,00386	0,04832	300,00	0,257	0,324	0,00344
2	59,00386	59,05209	0,04823	300,00	0,324	0,388	0,00329
3	59,05209	59,10037	0,04828	300,00	0,388	0,455	0,00344
4	59,10037	59,14861	0,04824	300,00	0,455	0,523	0,00349
5	59,14861	59,19557	0,04696	300,00	0,523	0,590	0,00344
		Media	0,0480			Media	0,0034
		Desv. Pad.	0,0006			Desv. Pad.	0,0001

Pressão de Trabalho = 10 mca				Teste	10/ago		
Teste	Rotação: 1380 rpm			Abertura		144°	
	Vazão = 0,50m³/h			Recipiente calibrado			
				Tempo	Altura (m)		ΔV3
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	m3
1	52,09932	52,41904	0,31972	180,00	0,165	0,386	0,01136
2	52,41904	52,73812	0,31908	180,00	0,386	0,620	0,01203
3	52,73812	53,05250	0,31438	180,00	0,620	0,844	0,01151
4	53,05250	53,36229	0,30979	180,00	0,844	1,075	0,01187
5	53,36229	53,67797	0,31568	180,00	1,075	1,314	0,01228
		Media	0,3157			Media	0,0118
		Desv. Pad.	0,0040			Desv. Pad.	0,0004

Pressão de Trabalho = 10 mca				Teste	13/ago		
Teste	Rotação: 1407			Abertura		215°	
	Vazão = 0,75m³/h			Recipiente calibrado			
				Tempo	Altura (m)		ΔV3
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	m3
1	53,67797	54,01051	0,33254	180,00	0,166	0,530	0,01871
2	54,01051	54,34845	0,33794	180,00	0,530	0,890	0,01850
3	54,34845	54,68650	0,33805	180,00	0,890	1,265	0,01927
4	54,68650	55,02425	0,33775	180,00	0,246	0,622	0,01932
5	55,02425	55,36141	0,33716	180,00	0,622	0,989	0,01886
		Media	0,3367			Media	0,0189
		Desv. Pad.	0.0023			Desv. Pad.	0.0004

Pressão de Trabalho = 10 mca			Teste	13/ago			
Teste	Rotação: 1433 rpm			Abertura		304°	
	Vazão = 1,0m³/h			Recipiente calibrado			
				Tempo	Altura (m)		ΔV3 m3
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	
1	55,36141	55,71043	0,34902	180,00	0,147	0,629	0,02477
2	55,71043	56,05466	0,34423	180,00	0,629	1,110	0,02472
3	56,05466	56,39975	0,34509	180,00	1,110	1,593	0,02482
4	56,39975	56,74352	0,34377	180,00	0,220	0,701	0,02472
5	56,74352	57,08919	0,34567	180,00	0,701	1,186	0,02493
		Media	0,3456			Media	0,0248
		Desv. Pad.	0,0021			Desv. Pad.	0,0001

Pressão de trabalho				10 mca	Teste	16/ago		
Teste	Rotação: 1485 rpm			Abertura		535°		
	Vazão = 1,5m³/h			Recipiente calibrado				
	Hidrômetro H2			Tempo	Altura (m)		ΔV3 m3	
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final		
1	57,08919	57,45520	0,36601	180,00	0,124	0,744	0,03186	
2	57,45520	57,81632	0,36112	180,00	0,744	1,368	0,03207	
3	57,81632	58,17782	0,36150	180,00	0,196	0,824	0,03227	
4	58,17782	58,53916	0,36134	180,00	0,824	1,456	0,03248	
5	58,53916	58,90025	0,36109	180,00	0,206	0,837	0,03243	
		Media	0,3622			Media	0,0322	
		Desv. Pad.	0,0021			Desv. Pad.	0,0003	

APÊNDICE 5: Quantificação do volume de ar medido em ligação predial após desabastecimento com tempo 180s e pressão de 50 mca.

Pressão de Trabalho = 50 mca				Teste	17/ago	Abertura	
Teste	Rotação: 2895 rpm			Abertura		36°	
	Vazão = 0,18m³/h			Recipiente calibrado			
				Tempo	Altura (m)		ΔV3
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	m3
1	59,20147	59,26088	0,05941	180,00	0,170	0,520	0,01799
2	59,32179	59,38097	0,05918	180,00	0,738	1,086	0,01788
3	59,38097	59,44001	0,05904	180,00	1,086	1,436	0,01799
4	59,44001	59,49905	0,05904	180,00	0,215	0,556	0,01752
5	59,49905	59,55789	0,05884	180,00	0,556	0,898	0,01758
		Media	0,0591			Media	0,0178
		Desv. Pad.	0.0002			Desv. Pad.	0.0002

Pressão de Trabalho = 50 mca			Teste	17/ago				
Teste	Rotação: 2895 rpm			Abertura		59°		
	Vazão = 0,50m³/h			Recipiente calibrado				
				Tempo	Altura (m)		ΔV3	
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	m3	
1	59,64991	59,74850	0,09859	180,00	0,805	1,510	0,03623	
2	59,74850	59,84718	0,09868	180,00	0,212	0,925	0,03664	
3	59,84718	59,94549	0,09831	180,00	0,925	1,617	0,03556	
4	59,94549	60,04481	0,09932	180,00	0,175	0,890	0,03675	
5	60,04481	60,14438	0,09957	180,00	0,890	1,613	0,03716	
		Media	0,0989				Media	0,0365
		Desv. Pad.	0.0005			Desv. Pad.		0.0006

Pressão de Trabalho = 50 mca			Teste	17/ago			
Teste	Rotação: 2895 rpm			Abertura		74°	
	Vazão = 0,75m³/h			Recipiente calibrado			
				Tempo	Altura (m)		ΔV3
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	m3
1	60,14438	60,26020	0,11582	180,00	0,158	1,100	0,04841
2	60,26910	60,38598	0,11688	180,00	0,280	1,225	0,04857
3	60,38598	60,50275	0,11677	180,00	0,277	1,223	0,04862
4	60,50275	60,61934	0,11659	180,00	0,270	1,210	0,04831
5	60,61934	60,73547	0,11613	180,00	0,247	1,197	0,04882
		Media	0,1165			Media	0,0485
		Desv. Pad.	0,0004			Desv. Pad.	0,0002

Pressão de Trabalho = 50 mca			Teste	20/ago			
Teste	Rotação: 2950 rpm			Abertura		90°	
	Vazão = 1,0m³/h			Recipiente calibrado			
				Tempo	Altura (m)		ΔV3
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	m3
1	60,73547	60,86610	0,13063	180,00	0,165	1,360	0,06141
2	60,86610	60,99710	0,13100	180,00	0,222	1,401	0,06059
3	60,99710	61,12754	0,13044	180,00	0,250	1,410	0,05961
4	61,12754	61,25709	0,12955	180,00	0,225	1,399	0,06033
5	61,25709	61,38883	0,13174	180,00	0,241	1,428	0,06100
		Media	0,1307			Media	0,0606
		Desv. Pad.	0,0008			Desv. Pad.	0,0007

Pressão de trabalho			50 mca	Teste	20/ago		
Teste	Rotação: 2977 rpm			Abertura		130°	
	Vazão = 1,5m³/h			Recipiente calibrado			
	Hidrômetro H2			Tempo	Altura (m)		ΔV3
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	m3
1	61,38883	61,54076	0,15193	180,00	0,175	1,659	0,07627
2	61,54076	61,69220	0,15144	180,00	0,116	1,617	0,07714
3	61,69220	61,84464	0,15244	180,00	0,112	1,601	0,07652
4	61,84464	61,99590	0,15126	180,00	0,110	1,583	0,07570
5	61,99590	62,14722	0,15132	180,00	0,113	1,587	0,07575
		Media	0,1517	Media			0,0763
		Desv. Pad.	0,0005	Desv. Pad.			0,0006

APÊNDICE 6: Quantificação do volume de ar medido em ligação predial após desabastecimento com tempo 300s e pressão de 10 mca.

Pressão de Trabalho =			10 mca	Teste	16/ago	Abertura	
Teste	Rotação: 1347 rpm			Abertura		80°	
	Vazão = 0,18m³/h			Recipiente calibrado			
				Tempo	Altura (m)		ΔV3
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	m3
1	58,95554	59,00386	0,04832	300,00	0,257	0,324	0,00344
2	59,00386	59,05209	0,04823	300,00	0,324	0,388	0,00329
3	59,05209	59,10037	0,04828	300,00	0,388	0,455	0,00344
4	59,10037	59,14861	0,04824	300,00	0,455	0,523	0,00349
5	59,14861	59,19557	0,04696	300,00	0,523	0,590	0,00344
		Media	0,0480			Media	0,0034
Desv. Pad.			0,0006			Desv. Pad.	0,0001

Pressão de Trabalho =			10 mca	Teste	22/ago		
Teste	Rotação: 1380 rpm			Abertura		144°	
	Vazão = 0,50m³/h			Recipiente calibrado			
				Tempo	Altura (m)		ΔV3
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	m3
1	62,14722	62,49952	0,35230	300,00	0,195	0,913	0,03690
2	62,49952	62,84595	0,34643	300,00	0,913	1,612	0,03592
3	62,84595	63,18919	0,34324	300,00	0,191	0,884	0,03561
4	63,18919	63,54015	0,35096	300,00	0,884	1,592	0,03639
5	63,54015	63,88754	0,34739	300,00	0,161	0,878	0,03685
		Media	0,3481			Media	0,0363
		Desv. Pad.	0,0036			Desv. Pad.	0,0006

Pressão de Trabalho =			10 mca	Teste	22/ago		
Teste	Rotação: 1407			Abertura		215°	
	Vazão = 0,75m³/h			Recipiente calibrado			
				Tempo	Altura (m)		ΔV3
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	m3
1	63,88754	64,26602	0,37848	300,00	0,157	1,159	0,05149
2	64,26602	64,64454	0,37852	300,00	0,244	1,237	0,05103
3	64,64454	65,02344	0,37890	300,00	0,195	1,194	0,05134
4	65,02344	65,40084	0,37740	300,00	0,193	1,193	0,05139
5	65,40084	65,77446	0,37362	300,00	0,231	1,229	0,05129
		Media	0,3774			Media	0,0513
		Desv. Pad.	0,0022			Desv. Pad.	0,0002

Pressão de Trabalho =			10 mca	Teste	22/ago		
Teste	Rotação: 1433 rpm			Abertura		304°	
	Vazão = 1,0m³/h			Recipiente calibrado			
				Tempo	Altura (m)		ΔV3
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	m3
1	65,77446	66,16545	0,39099	300,00	0,125	1,373	0,06414
2	66,16545	66,55660	0,39115	300,00	0,171	1,423	0,06434
3	66,55660	66,94760	0,39100	300,00	0,166	1,413	0,06409
4	66,94760	67,33981	0,39221	300,00	0,174	1,419	0,06398
5	67,33981	67,72965	0,38984	300,00	0,164	1,414	0,06424
		Media	0,3910			Media	0,0642
		Desv. Pad.	0,0008			Desv. Pad.	0,0001

Pressão de trabalho			10 mca	Teste	22/ago		
Teste	Rotação: 1485 rpm			Abertura		535°	
	Vazão = 1,5m³/h			Recipiente calibrado			
	Hidrômetro H2			Tempo	Altura (m)		ΔV3
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	m3
1	67,72965	68,13947	0,40982	300,00	0,085	1,670	0,08146
2	68,13947	68,55335	0,41388	300,00	0,087	1,669	0,08130
3	68,55335	68,96690	0,41355	300,00	0,084	1,664	0,08120
4	68,96690	69,37389	0,40699	300,00	0,080	1,657	0,08105
5	69,37389	69,77543	0,40154	300,00	0,082	1,664	0,08130
		Media	0,4092			Media	0,0813
		Desv. Pad.	0,0051			Desv. Pad.	0,0002

APÊNDICE 7: Quantificação do volume de ar medido em ligação predial após desabastecimento com tempo 300s e pressão de 50 mca.

Pressão de Trabalho =			50 mca	Teste	22/ago	Abertura	
Teste	Rotação: 2895 rpm			Abertura		36°	
	Vazão = 0,18m³/h			Recipiente calibrado			
				Tempo	Altura (m)		ΔV3
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	m3
1	69,77543	69,87099	0,09556	300,00	0,171	1,003	0,04276
2	69,87099	69,96590	0,09491	300,00	0,260	1,091	0,04271
3	69,96590	70,06030	0,09440	300,00	0,239	1,059	0,04214
4	70,06030	70,15386	0,09356	300,00	0,286	1,084	0,04101
5	70,15386	70,24711	0,09325	300,00	0,270	1,067	0,04096
		Media	0,0943			Media	0,0419
		Desv. Pad.	0.0010			Desv. Pad.	0.0009

Pressão de Trabalho =			50 mca	Teste	23/ago		
Teste	Rotação: 2895 rpm			Abertura		59°	
	Vazão = 0,50m³/h			Recipiente calibrado			
				Tempo	Altura (m)		ΔV3
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	m3
1	70,24711	70,36402	0,11691	300,00	0,201	1,314	0,05720
2	70,36402	70,47854	0,11452	300,00	0,276	1,382	0,05684
3	70,47854	70,59631	0,11777	300,00	0,229	1,358	0,05802
4	70,59631	70,71364	0,11733	300,00	0,237	1,353	0,05735
5	70,71364	70,82992	0,11628	300,00	0,266	1,368	0,05663
		Media	0,1166			Media	0,0572
		Desv. Pad.	0.0013			Desv. Pad.	0.0005

APÊNDICE 8: Tabela de dados para o teste do bloqueador de ar operando com pressão estática de 10 mca.

Pressão de Trabalho = 10 mca				Teste		Abertura	
Teste	Rotação: 1347 rpm			Abertura		80°	
	Vazão = 0,18m³/h			Com o Bloqueador			
				Tempo			
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	ΔV2
1	33,36984	33,40666	0,03682	60,00	33,63231	33,65631	0,02400
2	33,45066	33,49084	0,04018	60,00	33,65631	33,68002	0,02371
3	33,49084	33,52991	0,03907	60,00	33,68002	33,70387	0,02385
4	33,52991	33,56805	0,03814	60,00	33,70387	33,72680	0,02293
5	33,56805	33,60582	0,03777	60,00	33,72680	33,74910	0,02230
		Media	0,0384			Media	0,0234
	Desv. Pad.		0,0013		Desv. Pad.		0,0007
					Eficiência (%)		39,17

Pressão de Trabalho =			10 mca	Teste			
Teste	Rotação: 1380 rpm			Abertura		144°	
	Vazão = 0,50m³/h			Com o Bloqueador			
				Tempo			
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	ΔV2
1	33,74910	33,86756	0,11846	60,00	34,44337	34,53059	0,08722
2	33,86756	33,98704	0,11948	60,00	34,53059	34,61717	0,08658
3	33,98704	34,10749	0,12045	60,00	34,61717	34,70389	0,08672
4	34,10749	34,22721	0,11972	60,00	34,70389	34,78815	0,08426
5	34,22721	34,34635	0,11914	60,00	34,78815	34,87292	0,08477
		Media	0,1195			Media	0,0859
		Desv. Pad.	0,0007			Desv. Pad.	0,0013
						Eficiência (%)	28,08

Pressão de Trabalho =			10 mca	Teste			
Teste	Rotação: 1407			Abertura		215°	
	Vazão = 0,75m³/h			Com o Bloqueador			
				Tempo			
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	ΔV2
1	34,87292	35,09795	0,22503	60,00	35,99156	36,14220	0,15064
2	35,09795	35,31926	0,22131	60,00	36,14220	36,29686	0,15466
3	35,31926	35,53934	0,22008	60,00	36,29686	36,44736	0,15050
4	35,53934	35,76010	0,22076	60,00	36,44736	36,59703	0,14967
5	35,76010	35,99156	0,22044	63,00	36,59703	36,74696	0,14993
		Media	0,2218		Media		0,1511
		Desv. Pad.	0,0020		Desv. Pad.		0,0020
					Eficiência (%)		31,88

Pressão de Trabalho = 10 mca				Teste			
Teste	Rotação: 1433 rpm			Abertura		304°	
	Vazão = 1,0m³/h			Com o Bloqueador			
				Tempo			
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	ΔV2
1	38,67725	38,76610	0,08885	60,00	37,40556	37,47538	0,06982
2	38,76610	38,85490	0,08880	60,00	37,47538	37,54408	0,06870
3	38,85490	38,94302	0,08812	60,00	37,54408	37,61360	0,06952
4	38,94302	39,03166	0,08864	60,00	37,61360	37,68254	0,06894
5	39,03166	39,12120	0,08954	60,00	37,68254	37,75114	0,06860
		Media	0,0888		Media		0,0691
			Desv. Pad.		Desv. Pad.		0,0005
					Eficiência (%)		22,16

Pressão de Trabalho = 10 mca			Teste					
Teste	Rotação: 1485 rpm			Abertura		535°		
	Vazão = 1,5m³/h			Com o Bloqueador				
	Hidrômetro H2			Tempo				
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	ΔV2	
1	38,21271	38,30591	0,09320	60,00	37,75114	37,82622	0,07508	
2	38,30591	38,39882	0,09291	60,00	37,82622	37,89707	0,07085	
3	38,39882	38,49186	0,09304	60,00	37,89707	37,97039	0,07332	
4	38,49186	38,58399	0,09213	60,00	37,97039	38,04085	0,07046	
5	38,58399	38,67725	0,09326	60,00	38,04085	38,11097	0,07012	
		Media	0,0929	Media				0,0720
		Desv. Pad.	0,0005	Desv. Pad.				0,0021
				Eficiência (%)				22,54

APÊNDICE 9: Tabela de dados para o teste do bloqueador de ar operando com pressão estática de 50 mca.

Pressão de Trabalho = 50 mca			Teste		Abertura		
Teste	Rotação: 2895 rpm			Abertura		36°	
	Vazão = 0,18m³/h			Com o Bloqueador			
				Tempo			
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	ΔV2
1	39,16600	39,20662	0,04062	60,00	39,60553	39,63549	0,02996
2	39,20662	39,24782	0,04120	60,00	39,63549	39,66505	0,02956
3	39,24782	39,28787	0,04005	60,00	39,66505	39,69465	0,02960
4	39,28787	39,32695	0,03908	60,00	39,69465	39,72402	0,02937
5	39,32695	39,36772	0,04077	60,00	39,72402	39,75296	0,02894
		Média	0,0403			Média	0,0295
Desv. Pad.			0,0008			Desv. Pad.	0,0004
						Eficiência (%)	26,91

Pressão de Trabalho = 50 mca				Teste			
Teste	Rotação: 2895 rpm			Abertura		59°	
	Vazão = 0,50m³/h			Com o Bloqueador			
				Tempo			
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	ΔV2
1	40,04862	40,09072	0,04210	30,00	40,21809	40,25414	0,03605
2	40,09072	40,13335	0,04263	30,00	40,25414	40,29037	0,03623
3	40,13335	40,17602	0,04267	30,00	40,29037	40,32569	0,03532
4	40,17602	40,21809	0,04207	30,00	40,32569	40,36036	0,03467
5				30,00	40,36036	40,39555	0,03519
		Média	0,0424			Média	0,0355
Desv. Pad.			0,0003			Desv. Pad.	0,0006
						Eficiência (%)	16,23

Pressão de Trabalho = 50 mca				Teste			
Teste	Rotação: 2895 rpm			Abertura		74°	
	Vazão = 0,75m³/h			Com o Bloqueador			
				Tempo			
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	ΔV2
1	40,48231	40,52201	0,03970	20,00	40,71106	40,74522	0,03416
2	40,52201	40,56161	0,03960	20,00	40,74522	40,77845	0,03323
3	40,59259	40,63225	0,03966	20,00	40,77845	40,81143	0,03298
4	40,63225	40,67145	0,03920	20,00	40,81143	40,84412	0,03269
5	40,67145	40,71106	0,03961	20,00	40,84412	40,87809	0,03397
		Média	0,0396			Média	0,0334
Desv. Pad.			0,0002			Desv. Pad.	0,0006
						Eficiência (%)	15,54

Pressão de Trabalho = 50 mca				Teste			
Teste	Rotação: 2950 rpm			Abertura		90°	
	Vazão = 1,0m³/h			Com o Bloqueador			
				Tempo			
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	ΔV2
1	40,87809	40,92739	0,04930	20,00	41,11752	41,15879	0,04127
2	40,92739	40,97625	0,04886	20,00	41,15879	41,19942	0,04063
3	40,97625	41,02285	0,04660	20,00	41,19942	41,24019	0,04077
4	41,02285	41,07021	0,04736	20,00	41,24019	41,28061	0,04042
5	41,07021	41,11752	0,04731	20,00	41,28061	41,32199	0,04138
		Média	0,0479			Média	0,0409
Desv. Pad.			0,0011			Desv. Pad.	0,0004
						Eficiência (%)	14,60

Pressão de Trabalho = 50 mca				Teste			
Teste	Rotação: 2977 rpm			Abertura		130°	
	Vazão = 1,5m³/h			Com o Bloqueador			
	Hidrômetro H2			Tempo			
	Inicial	Final	ΔV1	s	Inicial	Final	ΔV2
1	41,32199	41,36239	0,04040	10,00	41,51764	41,55051	
2	41,36239	41,40280	0,04041	10,00	41,55051	41,57140	0,02089
3	41,40280	41,44219	0,03939	10,00	41,57140	41,59255	0,02115
4	41,44219	41,48176	0,03957	10,00	41,59255	41,61330	0,02075
5	41,48176	41,51764	0,03987	9,00	41,61330	41,63432	0,02102
6				10,00	41,63432	41,65464	0,02032
		Média	0,0399			Média	0,0208
		Desv. Pad.	0,0005			Desv. Pad.	0,0003

APÊNDICE 10: Tabela de dados para o teste de ventosa operando com pressão estática de 10 mca.

Pressão de Trabalho = 10 mca			Rotação 1347rpm			Data	26/jun	Abertura = 80°			
Teste	Teste sem ventosa			Teste efetuado com a ventosa de linha							
	Vazão = 0,18m³/h						Recipiente calibrado				
	Hidrômetro H2						Tempo s	Altura (m)		ΔV3 m³	
	Inicial	Final	ΔV1	Inicial	Final	ΔV2		Inicial	Final		
	1	17,90545	17,95179	0,04634	18,08941	18,12211	0,03270	60,00	0,09	0,09	0,00
	2	17,95179	17,99774	0,04595	18,12211	18,15231	0,03020	60,00	0,09	0,09	0,00
3	17,99774	18,04351	0,04577	18,15231	18,18326	0,03095	60,00	0,09	0,09	0,00	
4											
5											
Media			0,0460	Media			0,0313	Media			0,00
Desv. Pad.			0,0003	Desv. Pad.			0,0013	Desv. Pad.			0,00
								E(%)			32,02

Pressão de Trabalho = 10 mca			Rotação 1380 rpm			Teste	26/jun	Abertura = 144º			
Teste	Teste sem ventosa			Teste efetuado com a ventosa de linha							
	Vazão = 0,50m³/h						Recipiente calibrado				
	Hidrômetro H2						Tempo s	Altura (m)		ΔV3 m³	
	Inicial	Final	ΔV1	Inicial	Final	ΔV2		Inicial	Final		
	1	18,77851	18,92456	0,14605	19,22347	19,31625	0,12371	45,00	0,09	0,09	0,00
2	18,92456	19,07166	0,14710	19,41446	19,49954	0,11344	45,00	0,09	0,09	0,00	
3	19,07166	19,22347	0,15181	19,49954	19,59461	0,12400	45,00	0,09	0,09	0,00	
4											
5											
Media			0,1483	Media			0,1204	Media			0,00
Desv. Pad.			0,0031	Desv. Pad.			0,0060	Desv. Pad.			0,00
									E(%)	18,84	

Pressão de Trabalho = 10 mca				Rotação 1407rpm			Teste	27/jun	Abertura = 215º	
Teste	Teste sem ventosa			Teste efetuado com a ventosa de linha						
	Vazão = 0,75m³/h						Recipiente calibrado			
	Hidrômetro H2					Tempo s	Altura (m)		ΔV3 m³	
	Inicial	Final	ΔV1	Inicial	Final		ΔV2	Inicial		Final
	1	20,21059	20,39630	0,18571	21,14515	21,26605	0,16120	45,00	0,09	0,09
2	20,39630	20,58374	0,18744	21,26605	21,37643	0,14717	45,00	0,09	0,09	0,00
3	20,58374	20,77083	0,18709	21,37643	21,49585	0,15923	45,00	0,09	0,09	0,00
4	20,77083	20,95893	0,18810	21,75795	21,87409	0,15485	45,00	0,09	0,09	0,00
5	20,95893	21,1452	0,18622				45,00	0,09	0,09	0,00
		Media	0,1871		Media	0,1556			Media	0,00
	Desv. Pad.		0,0010	Desv. Pad.		0,0062		Desv. Pad.		0,00
									E(%)	16,82

Teste	Teste sem ventosa			Teste efetuado com a ventosa de linha						
	Vazão = $0,75\text{m}^3/\text{h}$						Recipiente calibrado			
	Hidrômetro H2						Tempo s	Altura (m)		$\Delta V3$ m^3
	Inicial	Final	$\Delta V1$	Inicial	Final	$\Delta V2$		Inicial	Final	
1	20,21059	20,39630	0,18571	21,14515	21,26605	0,16120	45,00	0,09	0,09	0,00
2	20,39630	20,58374	0,18744	21,26605	21,37643	0,14717	45,00	0,09	0,09	0,00
3	20,58374	20,77083	0,18709	21,37643	21,49585	0,15923	45,00	0,09	0,09	0,00
4	20,77083	20,95893	0,18810	21,75795	21,87409	0,15485	45,00	0,09	0,09	0,00
5	20,95893	21,1452	0,18622				45,00	0,09	0,09	0,00
		Media	0,1871		Media	0,1556			Media	0,00
		Desv. Pad.	0,0010		Desv. Pad.	0,0062			Desv. Pad.	0,00
									E(%)	16,82

Pressão de Trabalho =			10 mca	Rotação		1433rpm	Teste	2/jul	Abertura = 304º	
Teste	Teste sem ventosa			Teste efetuado com a ventosa de linha						
	Vazão = 1,0m³/h						Recipiente calibrado			
	Hidrômetro H2						Tempo s	Altura (m)		ΔV3 m³
	Inicial	Final	ΔV1	Inicial	Final	ΔV2		Inicial	Final	
	1	22,78740	22,87775	0,09035	23,05806	23,10957	0,06868	45,00	0,09	0,09
2	22,87775	22,96749	0,08974	23,10957	23,16255	0,07064	45,00	0,09	0,09	0,00
3	22,96749	23,05806	0,09057	23,16255	23,21618	0,07151	45,00	0,09	0,09	0,00
4										
5										
		Media	0,0902	Media		0,0703			Media	0,00
		Desv. Pad.	0,0004	Desv. Pad.		0,0014			Desv. Pad.	0,00

APÊNDICE 11: Tabela de dados para o teste de ventosa operando com pressão estática de 50 mca.

Pressão de Trabalho =			50 mca	Rotação		2895rpm	Teste	3/jul			
Teste	Teste sem ventosa			Teste efetuado com a ventosa de linha							
	Vazão = 0,18m³/h			Abertura		36°	Recipiente calibrado				
	Hidrômetro H2						Tempo	Altura (m)		ΔV3 m³	
	Inicial	Final	ΔV1	Inicial	Final	ΔV2		s	Inicial		Final
	1	24,24821	24,26720	0,03798	24,35887	24,36676	0,03156	15,00	0,09	0,09	0,00
2	24,26720	24,28594	0,03748	24,36676	24,37521	0,03380	15,00	0,09	0,09	0,00	
3	24,28594	24,30428	0,03668	24,39222	24,40024	0,03208	15,00	0,09	0,09	0,00	
4											
5											
			Media	0,0374	Media		0,0325			Media	0,00
Desv. Pad.			0,0007	Desv. Pad.		0,0012			Desv. Pad.	0,00	
									E(%)	13,11	

Pressão de Trabalho = 50 mca				Rotação 2895rpm		Teste	3/jul				
Teste	Teste sem ventosa			Teste efetuado com a ventosa de linha							
	Vazão = 0,50m³/h			Abertura		59°	Recipiente calibrado				
	Hidrômetro H2					Tempo	Altura (m)		ΔV3 m³		
	Inicial	Final	ΔV1	Inicial	Final		ΔV2	s		Inicial	Final
	1	24,40024	24,44041	0,08034	24,59195	24,61642	0,09788	15,00	0,09	0,09	0,00
2	24,44041	24,48056	0,08030	24,63906	24,66209	0,09212	15,00	0,09	0,09	0,00	
3	24,52282	24,56315	0,08066	24,72029	24,74321	0,09168	15,00	0,09	0,09	0,00	
4											
5											
			Media	0,0804	Media		0,0939	Media			0,00
Desv. Pad.			0,0002	Desv. Pad.		0,0035	Desv. Pad.			0,00	
							E(%)			-16,73	

Pressão de Trabalho = 50 mca				Rotação 2895rpm		Teste	3/jul			
Teste	Teste sem ventosa			Teste efetuado com a ventosa de linha						
	Vazão = 0,75m³/h			Abertura		74°	Recipiente calibrado			
	Hidrômetro H2					Tempo	Altura (m)		ΔV3 m³	
	Inicial	Final	ΔV1	Inicial	Final		ΔV2	s		Inicial
	1	24,74321	24,79731	0,10820	24,96004	24,99159	0,12620	15,00	0,09	0,09
2	24,79731	24,85102	0,10742	24,99159	25,02266	0,12428	15,00	0,09	0,09	0,00
3	24,85102	24,90514	0,10824	25,02266	25,05342	0,12304	15,00	0,09	0,09	0,00
4	24,90514	24,96004	0,10980	25,05342	25,08380	0,12152	15,00	0,09	0,09	0,00
5										
Media			0,1084	Media		0,1238	Media			0,00
Desv. Pad.			0,0010	Desv. Pad.		0,0020	Desv. Pad.			0,00
							E(%)			-14,15

Pressão de Trabalho =			50 mca	Rotação		2950rpm	Teste	3/jul		
Teste	Teste sem ventosa			Teste efetuado com a ventosa de linha						
	Vazão = 1,0m³/h			Abertura=		90°	Recipiente calibrado			
	Hidrômetro H2						Tempo s	Altura (m)		ΔV3 m³
	Inicial	Final	ΔV1	Inicial	Final	ΔV2		Inicial	Final	
1	25,11315	25,16394	0,15237	25,31928	25,35886	0,15832	15,00	0,09	0,09	0,00
2	25,16394	25,21532	0,15414	25,35886	25,39875	0,15956	15,00	0,09	0,09	0,00
3	25,21532	25,26737	0,15615	25,39875	25,43761	0,15544	15,00	0,09	0,09	0,00
4	25,26737	25,31928	0,15573	25,43761	25,47627	0,15464	15,00	0,09	0,09	0,00
5										
		Media	0,1546	Media		0,1570			Media	0,00
		Desv. Pad.	0,0017	Desv. Pad.		0,0023			Desv. Pad.	0,00
									E(%)	-1,55

Pressão de Trabalho = 50 mca			Rotação		2977rpm	Teste	3/jul			
Teste	Teste sem ventosa			Teste efetuado com a ventosa de linha						
	Vazão = 1,5m³/h			Abertura		130°	Recipiente calibrado			
	Hidrômetro H2						Tempo s	Altura (m)		ΔV3 m³
	Inicial	Final	ΔV1	Inicial	Final	ΔV2		Inicial	Final	
1	25,51481	25,55814	0,25998	25,80391	25,82696	0,13830	10,00	0,09	0,09	0,00
2	25,55814	25,60194	0,26280	25,82696	25,84948	0,13512	10,00	0,09	0,09	0,00
3	25,60194	25,64515	0,25926	25,84948	25,87161	0,13278	10,00	0,09	0,09	0,00
4										
5										
		Media	0,2607	Media		0,1354	Media			0,00
		Desv. Pad.	0,0019	Desv. Pad.		0,0028	Desv. Pad.			0,00
								E(%)	48,06	