

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA**

Centro Tecnológico

Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial

**Um Estudo sobre a Submedição em Hidrômetros
para Aplicação no Controle de Perdas Aparentes
no Sistema de Abastecimento de Água de
Blumenau**

**Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa
Catarina para
obtenção do grau de Mestre em Metrologia**

Autor: Cristiano Bittencourt Gularte, Eng.

Orientador: Marco Antônio Martins Cavaco, Dr. Eng.

Florianópolis, Abril de 2005

Resumo

É comprovadamente importante, para o bom desempenho de qualquer empresa de saneamento, enquanto prestadora de um serviço essencial, garantir a qualidade no sistema de produção e distribuição de água potável, um bem cada vez mais escasso. A reduzida capacidade de novos investimentos e escassez de recursos externos, além de eficácia na satisfação das necessidades dos usuários, exige também, eficiência no fornecimento de água, minimizando ao máximo as perdas.

Em média, as perdas totais de água são de 40 % do total produzido no Brasil e na maioria dos casos, as perdas aparentes representam 50 % destas. A submedição no parque de hidrômetros, é considerada a maior parcela das perdas aparentes, assim garantir a confiabilidade da micromedição torna-se uma ação importante para o controle de perdas.

Há a necessidade de garantir que o desempenho dos hidrômetros seja mantido em níveis adequados, já que este decai com o tempo de utilização.

Neste trabalho são apresentadas propostas de aplicações da metrologia como ferramentas para a redução e controle de perdas e de ações para minimizar a submedição de hidrômetros diminuindo, assim, o índice de perdas de faturamento. Em tal cenário é proposta uma metodologia de levantamento analítico do desempenho do parque de hidrômetros de Blumenau para fundamentar a implantação de manutenção preventiva.

O levantamento permite a estimativa dos erros sistemáticos ao passar dos anos da instalação e a verificação da influência nestes erros, da instalação incorreta e do escorregamento. Também são propostas ações para garantia da confiabilidade metrológica na aquisição e monitoração de hidrômetros.

Abstract

It is very important for the sanitation business to succeed, as an essential service supplier, the guarantee of the quality of the drinking water system and distribution. The reduction of new investments and shortage of foreign resources, plus the users satisfaction, demands efficiency in the water supply minimizing almost all losses.

In Brazil, the mean value of total water losses is around forty percent of production and in most cases the apparent loss means fifty percent of total losses. Under estimating the volume of water is considered the most important loss of apparent losses, demanding a quickly action for the losses control. The response of the water measuring device decay when it is getting older, thus a maintenance program is imperative in order to keep its performance at suitable levels.

This work presents some applications of metrology as a tool for controlling and reducing losses, emphasizing actions to reduce under estimation values from water measuring system consequently reducing cash losses.

In order to prevent such problems it is proposed a methodology of analytical performance survey applied to the measuring water plant located in Blumenau, Santa Catarina in a preventive maintenance program. The survey allowed estimates of bias errors obtained when the installation is aging, allowing a verification of errors such as incorrect installation and slipping errors. Also this work offered some actions for measuring the reliability in water measuring devices during acquisition and monitoring.

A minha esposa
Ana Claudia Menezes Gularte
e a minha filha
Anne Menezes Gularte

Agradecimentos

- A Deus que sempre iluminou meus caminhos e guiou meus passos.
- A minha esposa, Ana Claudia, pelo amor, companheirismo e apoio em todas conquistas.
- Aos meus pais, Wilte e Eneida, pela dedicação e incentivo desde os primeiros passos.
- Ao Sandro e Giovanni, que antes mesmo de irmãos, foram meus melhores amigos em todos os momentos.
- Aos amigos do Labmetro, Jana, César Pens, Luciana, Gemaque, Robson, Coral, André, Bel, César (gaúcho), Fabrício (in memoriam).
- Ao SAMAE e colegas da manutenção pelo incentivo e pronta ajuda sempre que necessário.
- Ao Eng. Ricardo Hübner e Eng. Artur Uliano, do setor de projetos do SAMAE e ao Sr. Fábio P. Matos e Sr. Emerson L. Rampeloti do setor comercial do SAMAE, pela valiosa ajuda.
- As minhas vós, tia Zê, sogro e sogra, cunhadas e cunhado pelo carinho e compreensão pela falta de atenção quando só pensava no trabalho.
- Ao Labmetro, seus coordenadores e professores, que proporcionaram a realização de um sonho.
- Ao meu orientador, Cavaco, pela orientação e incentivo para continuidade do trabalho.
- À Rosana por seu profissionalismo.

Sumário

Resumo	ii
Abstract	iii
Sumário	vi
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xi
Lista de Abreviaturas	xiii
Capítulo 1	
Introdução	1
1.1 O Ciclo da Água	2
1.2 Situação no Brasil	3
1.2.1 Situação em Blumenau.....	6
1.3 Proposta de trabalho	13
1.3.1 Elementos motivadores.....	14
1.3.2 Resumo dos Objetivos.....	15
1.4 Estrutura da dissertação.....	15

Capítulo 2

Perdas de Água e a Metrologia	17
2.1 Caracterização de Perdas	20
2.2 Perdas Reais	21
2.3 Perdas Aparentes	22
2.3.1 Perdas na Micromedição.....	23
2.4 A Metrologia como Ferramenta para a Redução e Controle de Perdas de Água.....	24
2.4.1 Uso de Hidrômetros Classe Metrológica C e Eletrônicos.....	26
2.4.2 Criação de Laboratório de Hidrometria	28
2.4.3 Calibração “In Situ” de Macromedidores.....	29
2.4.4 Outras Aplicações	31

Capítulo 3

A Micromedição	34
3.1 Principais Causas de Perdas na Micromedição ou de Faturamento	39
3.2 Classificação de Medidores de Água	39
3.2.1 Hidrômetros Velocimétricos	39
3.2.2 Hidrômetros Volumétricos.....	47
3.2.3 Hidrômetros e Registradores Eletrônicos	48
3.3 Causas e conseqüências de defeitos em hidrômetros.....	51

Capítulo 4

Proposta de Metodologia	53
4.1 Delineamento do Estudo da Submedição em Hidrômetros	55
4.1.1 Levantamento por Amostragem	56
4.2 Construções conceituais	60
4.3 Planejamento e Amostra	63
4.4 Operações.....	66

Capítulo 5

Resultados Alcançados no Estudo 75

5.1 Incremento no Volume Micromedido Após Substituição	75
5.2 Influência da Instalação Incorreta no Erro de Medição de Hidrômetros.....	79
5.3 Influência do Escorregamento no Erro de Medição de Hidrômetros.....	88
5.4 Estimativa do Desempenho do Parque para Fundamentação de Implantação de Manutenção Preventiva	90

Capítulo 6

Conclusões e Recomendações Finais 96

6.1 Conclusões para Hidrômetros Instalados Incorretamente.....	96
6.2 Conclusões sobre Hidrômetros sob Efeito de Escorregamento.....	97
6.3 Conclusões e Recomendações sobre o Desempenho do Parque de Hidrômetros de Blumenau – SC	98
6.4 Recomendação para Melhoria no Procedimento de Verificações Iniciais e Periódicas de Hidrômetros.....	103
6.5 Recomendações para Trabalhos Futuros	110

Referências Bibliográficas 112

Apêndice A

Método de Exclusão de Dados Discrepantes pelo Critério de Chauvenet 121

Apêndice B

Testes de Normalidade nas Distribuições dos Dados Amostrais 123

Lista de Figuras

Figura 1 – Subdivisão de um sistema de abastecimento de água	18
Figura 2 – Diagrama causa-efeito de perdas reais	21
Figura 3 – Diagrama causa-efeito de perdas aparentes	22
Figura 4 – Medidor de Vazão Eletromagnético.....	30
Figura 5 – Curvas de erros e perda de carga (INMETRO, 2000)	35
Figura 6 – Hidrômetro de jato único	42
Figura 7 – Hidrômetro de jato múltiplo	44
Figura 8 – Hidrômetro Woltmann Horizontal	46
Figura 9 – Configuração Típica de Telemetria em Micromedição.....	49
Figura 10 – Planilha de consumos (hidrômetros substituídos mar/2003).....	68
Figura 11 – Fluxograma de Atividades da Metodologia Proposta (parte 1).....	72
Figura 12 – Fluxograma de Atividades da Metodologia Proposta (parte 2).....	73
Figura 13 – Fluxograma de Atividades da Metodologia Proposta (parte 3).....	74
Figura 14 – Consumo médio antes e depois da substituição	79
Figura 15 – Percentuais de aprovação de hidrômetros instalados a 22,5°, 45° e 90°	80
Figura 16 – Gráfico de erros em hidrômetros instalados inclinadamente (escorregamento)	85
Figura 17 – Gráfico de erros em hidrômetros instalados inclinadamente (Qn).....	86
Figura 18 – Gráfico de erros em hidrômetros instalados inclinadamente (Qt).....	86
Figura 19 – Gráfico de erros em hidrômetros instalados inclinadamente (Qmín).....	87
Figura 20 – Gráfico de erros para estratos anuais (escorregamento)	89
Figura 21 – Gráficos de erros sobrepostos (escorregamento e Qn).....	90

Figura 22 – Gráfico de erros para estratos anuais (Q_n)	91
Figura 23 – Gráfico de erros para estratos anuais (Q_t).....	92
Figura 24 – Gráfico de erros para estratos anuais ($Q_{mín}$).....	93
Figura 25 – Constituição do parque quanto aos fabricantes	94
Figura 26 – Gráfico de erros para estratos anuais (fabricante T - $Q_{mín}$).....	99
Figura 27 – Gráfico de erros para estratos anuais (fabricante T - Q_n)	100
Figura 28 – Gráfico de erros para estratos anuais (fabricante X).....	101
Figura 29 – Gráfico de erros para estratos anuais (fabricante L).....	102
Figura 30 – Gráfico de erros para estratos anuais (fabricante S).....	102
Figura 31 – Páginas de dados para avaliação de incertezas em verificações metrológicas de hidrômetros (1ª Parte).....	105
Figura 32 – Páginas de dados para avaliação de incertezas em verificações metrológicas de hidrômetros (2ª Parte).....	106
Figura 33 – Planilha de cálculos e tabelas.....	107
Figura 34 – Planilha de Balanço de Incertezas (1ª parte)	108
Figura 35 – Planilha de Balanço de Incertezas (2ª parte)	109
Figura 36 – Laudo final de verificação metrológica de hidrômetros	110
Figura 37 – Planilha para teste de normalidade	124

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Perdas médias de faturamento no Brasil [SNIS, 2003].....	5
Tabela 2 – Preços - Tarifas (válidos a partir de 01/05/2004) [SAMAE, 2004]	7
Tabela 3 – Classes metrológicas x Q_{\min} e Q_t (INMETRO, 2000).....	37
Tabela 4 – Constituição do parque de hidrômetros da região 1	57
Tabela 5 – Constituição do parque de hidrômetros da região 3	57
Tabela 6 – Constituição do parque de hidrômetros da região 4	58
Tabela 7 – Constituição do parque de hidrômetros da região 7	58
Tabela 8 – Constituição do parque de hidrômetros da região 9	59
Tabela 9 – Constituição do parque de hidrômetros da região 10	59
Tabela 10 – Resumo dos resultados da substituição em janeiro de 2003.....	76
Tabela 11 – Resumo dos resultados da substituição em fevereiro de 2003.....	77
Tabela 12 – Resumo dos resultados da substituição em março de 2003	77
Tabela 13 – Resumo dos resultados da substituição em abril de 2003	77
Tabela 14 – Resumo dos resultados da substituição em maio de 2003	77
Tabela 15 – Resumo dos resultados da substituição total no período de janeiro a maio de 2003.....	78
Tabela 16 – Resultados para os ensaios em hidrômetros instalados corretamente...	81
Tabela 17 – Resultados para os ensaios em hidrômetros instalados com 22,5° de inclinação.....	82
Tabela 18 – Resultados para os ensaios em hidrômetros instalados com 45° de inclinação.....	83

Tabela 19 – Resultados para os ensaios em hidrômetros instalados com 45° de inclinação.....	84
Tabela 20 – Critério de Chauvenet para rejeição de dados discrepantes.....	122

Lista de Abreviaturas

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures
BNH	Banco Nacional de Habitação
DESAN	Departamento de Saneamento
ETA	Estação de Tratamento de Água
GUM	Guia para a Expressão da Incerteza de Medição
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
ISO	International Organization for Standardization
LIC	Limite Inferior de comprovação da Conformidade
LSC	Limite Superior de comprovação da Conformidade
MPO	Ministério do Planejamento e Orçamento
OIML	International Organization of Legal Metrology
Q_n	Vazão Nominal
Q_t	Vazão de Transição
$Q_{mín}$	Vazão Mínima
PNDA	Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
RBC	Rede Brasileira de Calibração
Re	Repetitividade
Rb	Resultado base de uma medição
SAMAE	Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SEPURB	Secretaria de Política Urbana

SI Sistema Internacional de Unidades

SISCOP Sistema de Controle Operacional

SMP Sistema de Medição Padrão

SNIS Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

Td Tendência

VIM Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia

VRP Válvula Redutora de Pressão

Capítulo 1

Introdução

Em Blumenau – SC e na maioria das cidades do país, o percentual de ligações de água equipadas com hidrômetros, ou seja, o índice de micromedição, é elevado, no entanto, o domínio destes instrumentos de medição, de seus desempenhos e do rendimento do parque de hidrômetros ainda está aquém do necessário.

As perdas aparentes que ocorrem na micromedição (no parque de hidrômetros) representam influência significativa nas perdas de faturamento. No SAMAE (Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto – Blumenau-SC), assim como em outras empresas de saneamento, a composição das faturas dos usuários é baseada nos volumes de água micromedidos.

Garantir a confiabilidade da micromedição através da implantação de um programa de manutenção preventiva do parque de hidrômetros e sua permanente monitoração são ações importantes para minimizar perdas de faturamento e alcançar a eficiência [CAVALCANTI, 1996; KAIS, 1976; LAMBERT, 2000].

Preservar os mananciais e fontes naturais, por si só, já é uma grande justificativa para priorizar ações em redução de perdas de água, além disto ainda obter-se um aumento da capacidade de investimentos e evidência de melhoria contínua, não deixa dúvidas quanto a importância e necessidade.

1.1 O Ciclo da Água

A conservação e racionalização da utilização de recursos energéticos e hídricos têm se transformado em fatores decisivos do sucesso da inserção e manutenção de países na comunidade mundial como forças econômicas.

Os recursos hídricos não podem ser tratados simplesmente como recursos renováveis, mas como recursos limitados, assim a utilização racional e a sua conservação tornam-se fundamentais.

A água é fonte de vida, razão da existência de plantas, animais e do ser humano na face da Terra. Sem ela o planeta seria deserto. Segundo a teoria do “Big Bang”, a água está no planeta desde sua criação há 4,5 bilhões de anos, e neste tempo não sofreu acréscimos no volume, pois a água não é algo que se cria, apenas passa por constantes modificações, no que se chama Ciclo da Água.

A ação do sol dá partida a este ciclo contínuo da água saindo e voltando à terra.

Em nosso planeta, 71 % da superfície é coberta por água, no entanto 97 % deste total é salgada e em apenas 2 %, na água doce encontrada em rios e lagos, a tecnologia conhecida torna o tratamento viável. O Brasil possui 8 % das reservas de água doce do mundo, 80 % encontram-se na Região Amazônica enquanto os 20 % restantes distribuem-se, de forma desigual, nas demais regiões do país. A Região Sul, por exemplo, dispõe de 6,5 % da água doce do país [PNCDA – DTA A1, 1999].

Mesmo sendo a questão da escassez de água, já debatida e conhecida, o ser humano, de modo geral, ainda não se conscientizou da importância em preservar as fontes de água e os mananciais, evitando sua poluição.

Nossa civilização cresceu e evoluiu bastante, mas infelizmente na mesma proporção também cresceram as fontes poluidoras.

Um ano e dois meses, entre 2003 e 2004, sobrevoando a maior reserva de água doce do mundo: o território brasileiro, o casal aventureiro Gerard e Margui Moss percorreu cerca de cem mil quilômetros. Em mil vôos rasantes, eles coletaram amostras de água doce de rios, represas e reservatórios do Brasil. As amostras foram encaminhadas à universidades e centros de pesquisas brasileiras. O resultado das análises vai formar um retrato inédito de nossas águas.

Na primeira avaliação sobre as águas brasileiras há notícias boas e más.

"Há rios que estão em bom estado, com pouco impacto: o Rio Tapajós, o Rio Tocantins, o Rio Araguaia, o Rio Xingu, alguns pontos do Rio Paraná. Há rios que estão em estado moderadamente degradado, como por exemplo, o Rio Grande, o Rio Uruguai, o Rio São Francisco, o Rio Amazonas, o Rio Paraguai. Mas há rios que estão em estado muito degradado, segundo os dados coletados, por exemplo, o Rio Paraíba, o Rio Tietê, a Lagoa Mirim e a Lagoa dos Patos" [GALIZIA, 2005]

"A partir de agora, depende de cada um de nós, das municipalidades, não só economizar águas, mas também defender, cuidar, preservar nossa riqueza, que é o futuro do Brasil" [MOSS, 2005].

É preciso preservar. A água é um bem natural que não pode faltar, pois significa vida e, quando limpa e livre de poluição, é sinônimo de saúde. A água é importante para o desenvolvimento do país, é escassa para a maioria da população e é um bem que não se renova, portanto é de extrema necessidade usá-la de forma racional, evitando desperdícios e contribuindo para preservação de fontes e mananciais.

1.2 Situação no Brasil

No Brasil, na década de 80, o governo preocupando-se com a escassez da água, antes tarde do que nunca, começou a realizar estudos hidro-sanitários, promoveu o Seminário Internacional sobre Economia de Água de Abastecimento Público e incentivou o desenvolvimento de produtos poupadores de água. Em 1995 foi criado o PURA, Programa de Uso Racional da Água, logo em 1997, após diversas discussões foi criado o PNCDA, Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água [PNCDA – DTA A1, 1999].

A criação do PNCDA, na esfera federal, vem ao encontro de uma antiga demanda do Setor de Saneamento, delineada desde o início da década de 1980 e sistematizada no "Seminário Internacional sobre Economia de Água de Abastecimento Público" (anais publicados em 1986).

O objetivo de articulação em âmbito nacional foi na época frustrado pelo fechamento do BNH (Banco Nacional de Habitação), associado a um profundo desgaste da organização institucional do saneamento básico a nível federal. No

entanto, algumas iniciativas associadas àquele esforço permaneceram, especialmente na linha de pesquisa em componentes de baixo consumo de água, mediante parcerias entre instituições de pesquisa e fabricantes de aparelhos e equipamentos sanitários [PNCDA – DTA A1, 1999].

Em 1994, os estudos que deram origem à série “Modernização do Setor Saneamento” apontaram enfaticamente para a necessidade de se incorporar, no âmbito federal, a coordenação de políticas e programas voltados à conservação e ao uso racional da água de abastecimento público. Então, em abril de 1997, em articulação com o Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, além dos ministérios das Minas e Energia e do Planejamento e Orçamento, por meio do Departamento de Saneamento da Secretaria de Política Urbana (DESAN/SEPURB/MPO), finalmente instituía-se na esfera federal um programa de conservação e uso racional da água de abastecimento público o PNCDA [PNCDA – DTA A1, 1999].

Este projeto, portanto, sofreu prolongado período de abandono, passou por muitos percalços mas merece ser implementado com todo o cuidado.

Um dos principais resultados do programa, de extrema utilidade para a realização deste trabalho, foi a realização de estudos especializados e a organização de um conjunto de 16 (dezesesseis) Documentos Técnicos de Apoio (DTAs) às atividades do programa. Os DTAs apoiam as áreas de planejamento das ações de conservação, de tecnologia dos sistemas públicos de abastecimento de água e de tecnologia dos sistemas prediais de água e esgoto.

O PNCDA, como o próprio nome já evidencia, tem por objetivo geral promover o uso racional da água no abastecimento público no Brasil, em benefício da saúde pública, do saneamento ambiental e da eficiência dos serviços, propiciando a melhor produtividade dos ativos existentes e a postergação de parte dos investimentos para a ampliação dos sistemas.

Em suma, o governo brasileiro preocupa-se com o problema, está buscando há algum tempo determinar maneiras, objetivos concretos e delineamentos bem definidos para alcançá-los, está incentivando o andamento do programa, principalmente no atual governo, mas as cidades brasileiras em geral ainda apresentam níveis elevados de perdas de água.

Segundo o Diagnóstico Oficial dos Serviços de Água e Esgoto, do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento) em 2002, o indicador I_{13} , referente às perdas de faturamento, foi de 40,5% (SNIS, 2003), demonstrando uma situação preocupante.

O indicador I_{13} é medido pela relação entre os volumes faturados e disponibilizados para distribuição [SILVA, 1998; ALEGRE, 2000]. Este indicador, portanto, não considera as perdas no tratamento e na captação.

A tabela 1 apresenta a estimativa (valores médios) em 2002 das perdas de faturamento no Brasil, segundo a abrangência e a região geográfica.

Região	Abrangência			
	Estadual (I_{13}) (%)	Intermunicipal (I_{13}) (%)	Municipal (I_{13}) (%)	Brasil (I_{13}) (%)
Norte	52,8	-	69,0	57,6
Nordeste	45,5	-	43,7	45,4
Sudeste	38,2	40,8	40,3	38,8
Sul	37,9	30,7	34,1	37,3
Centro-Oeste	29,2	-	49,5	34,0
Brasil	39,9	38,6	42,8	40,5

Tabela 1 – Perdas médias de faturamento no Brasil [SNIS, 2003]

Como se pode notar na tabela acima, a situação brasileira, no que tange a controle de perdas, estava precária. Em média 40 % de toda a água potável fornecida à distribuição não era faturada, sendo grande parte deste volume, realmente perdido.

O diagnóstico de 2003, publicado em fevereiro de 2005, quase no final deste estudo, evidencia que não houve grandes mudanças em relação a 2002. As perdas de faturamento para o conjunto estudado ficaram em torno de 39,4 % (SNIS, 2005) e na atualidade, certamente, ainda mantêm-se em níveis elevados.

Estes índices de perdas evidenciam a falta de conscientização dos governantes sobre a escassez da água e sua importância, sem mencionar o desconhecimento ou descaso sobre os custos envolvidos.

1.2.1 Situação em Blumenau

Em Blumenau, a situação não é diferente, pois os índices de perdas ainda são bastante elevados. Segundo o SNIS, no ano de 2002 foram produzidos 25.579.000 m³ e micromedidos apenas 13.763.000 m³, portanto cerca de 46,19 % do volume total de água produzida, não foi faturado [SNIS, 2003]. Para o ano de 2003, o índice oficial foi de 47,1 % [SNIS, 2004], mas pode-se afirmar que nos anos de 2004 e 2005, provavelmente sofreu uma queda, mas certamente encontram-se na média nacional de 40 %.

A queda mencionada se deve a ações principalmente em readequação e substituição de hidrômetros e instalações de VRPs (válvulas redutoras de pressão).

Quando se afirma que índices de perdas estão elevados, está intrínseco que estes podem ser diminuídos, ou seja, as perdas de água podem ser reduzidas, no entanto, apenas até certo nível em que a perda é considerada inevitável ou inerente, abaixo do qual, para quedas ínfimas nos índices são necessários investimentos exorbitantes [SILVA, 1998].

Considera-se que as perdas inerentes para as condições brasileiras, estejam entre 10 % e 15 %. Em Blumenau, portanto, seria possível, através de um trabalho contínuo, sério, a médio e longo prazo, evitar que fossem perdidos aproximadamente 25 % do volume total de água potável produzida. Em Águas de Limeira-SP, por exemplo, foi atingido o índice de 12,8 % de perdas de faturamento em 2002 [SNIS, 2003], valor próximo a alguns centros de negócios da SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo).

A economia em Blumenau, segundo taxas atuais (de 2004), calculada de forma simplificada abaixo, chegaria a um valor em torno de 8 (oito) milhões de reais por ano.

Taxa mínima de consumo de água (10 m³) = R\$ 12,40

Produção média mensal de água tratada = 2.100.000 m³

2.100.000 m³ x 25 % = 525.000 m³ (perdas mensais recuperáveis)

525.000 m³ x R\$1,24/m³ x 12 meses = R\$ 7.812.000,00/ano

Mesmo que o índice de perdas em Blumenau fosse 10 % menor como

defendido internamente, e dificilmente o é, a economia seria com certeza ainda muito grande.

No cálculo, está sendo considerada apenas a taxa mínima de água, cobrada dos usuários com faixa de volume mensal consumido de (0 a 10) m³. A economia é ainda maior se levado em conta, que as faturas dos usuários incluem também as taxas de esgoto e a referente à coleta, tratamento e disposição final de resíduos sólidos.

Na tabela 2 são apresentados os valores atuais das taxas de água aplicadas segundo as faixas de consumo.

CATEGORIA(S)	Sigla	FAIXAS DE CONSUMO (m ³)		Valor por m ³
01 - RESIDENCIAL	R	1	1 a 10	R\$ 1,24
12 - ESCRITÓRIOS	L	2	11 a 30	R\$ 2,26
13 - CONSULTÓRIOS	A	3	31 a 9999	R\$ 2,89
02 - SOCIAL	S	1	1 a 10	R\$ 0,61
		2	11 a 30	R\$ 2,26
		3	31 a 9999	R\$ 2,89
03 - COMERCIAL	C	1	1 a 10	R\$ 1,88
04 - INDUSTRIAL	I	2	11 a 9999	R\$ 2,89
05 - LIG. TEMPORÁRIAS	T			
09 - PIPA RESIDENCIAL/PÚBLICA	X			
10 - PIPA TARIFA SOCIAL	Y			
11 - PIPA COMERCIAL/INDUSTRIAL	Z			
06 - CATEGORIA PÚBLICA	P	1	1 a 10	R\$ 1,24
08 - CATEGORIA ESCOLAR	E	2	11 a 9999	R\$ 2,40
07 - CATEGORIA HOSPITALAR	H	1	1 a 10	R\$ 1,24
		2	11 a 9999	R\$ 1,56

Tabela 2 – Preços - Tarifas (válidos a partir de 01/05/2004) [SAMAE, 2004]

A oferta de água seria aumentada significativamente sem aumento de

produção, postergando investimentos neste sentido e seria aumentada a capacidade de investimentos da autarquia. Em suma, o objetivo de qualquer empresa, o de ser eficaz e eficiente, seria alcançado.

No SAMAE de Blumenau, a preocupação com o problema de perdas de água e de energia elétrica, apesar de isolada, é notória. Já foram promovidos trabalhos, priorizando os com retorno econômico, por iniciativa própria da diretoria técnica, dos setores de projetos especiais e de eletromecânica.

Em 1997, foi implantado no SAMAE de Blumenau um sistema denominado SISCOP (Sistema de Controle Operacional). Através de telemetria e de um software supervisor, o sistema fornece até os dias atuais, informações instantâneas, de tendência e históricas, dos níveis dos reservatórios inferior e elevado da ETA 2 (Estação de Tratamento de Água), dos reservatórios principais de 5 regiões de abastecimento, quatro abastecidas pela ETA 2 e uma pela ETA 3, além de “status” de motobombas da cisterna da ETA 2 e das regiões abastecidas por ela.

Na compra e instalação do SISCOP, também foi contemplado o início da implantação de macromedição, ou seja, a medição das vazões de entrada de água bruta e saída de água tratada para as regiões abastecidas pelas ETAs 1, 2, 3 e 4.

As informações das vazões de água bruta e água tratada da ETA 2, também são enviadas para o SISCOP, através de telemetria.

A macromedição é importantíssima no controle de perdas, pois permite que além do controle das vazões instantâneas dos sistemas, também seja possível a análise da totalização dos volumes movimentados no tratamento e na adução de água tratada.

Tornou-se possível em Blumenau a estimativa de perdas no tratamento se desconsideradas os consumos autorizados e de perdas de faturamento, em cada sistema como um todo, através do confronto dos volumes macromedidos (fornecidos à distribuição) e micromedidos.

Apesar da relevância deste trabalho inicial, ele não foi definitivo para o controle de perdas. Há a necessidade de que a macromedição de vazão seja ampliada concomitantemente à subdivisão e setorização dos sistemas.

O conhecimento do nível de perdas em cada sistema, nas regiões e nos setores, individualmente, proporciona dados e fatos concretos para a tomada de

decisões, como para as de investimentos, por exemplo [GONÇALVES, 1998; SILVA, 1998; CASTILHO, 1999].

O SISCOP tal como previsto inicialmente, deveria ser uma das principais ferramentas para uma central de operações e controle dos sistemas de abastecimento. No entanto, para este fim necessitaria além da ampliação da monitoração na distribuição, a implementação da mesma também nos sistemas elevatórios, e também de ações remotas, tais como, abertura e fechamento de válvulas, tanto na rede como nas elevatórias, “resets” e troca de bombas (acionamento de motobomba “stand by”).

A monitoração nas elevatórias, de pressões de sucção e recalque do bombeamento, de grandezas elétricas do acionamento e de vazão, permitiria além de um controle instantâneo, de tendência e histórico, também a implementação de alarmes. Estes alarmes seriam disparados quando qualquer uma das grandezas extrapolasse limites pré-definidos. Isto, aliado à atuação remota, permitiria que quase instantaneamente após as falhas, decisões e ações pudessem ser tomadas, evitando prejuízos enormes.

Atualmente, problemas, como no caso de bombas trabalhando com rendimento precário ou alimentando vazamentos de grande porte, só são detectados quando um usuário reclama à central de atendimento, ou seja, só são resolvidos ou minimizados após a ocorrência de perdas significativas de água e/ou energia elétrica.

No ano de 2003 foi iniciado o processo de automação da ETA 2, através de contrato de consultoria para implantação do sistema Aqualog, produto desenvolvido na SABESP. O Aqualog é um pacote para automação de ETAs, já implantado em várias ETAs pertencentes ao sistema da SABESP.

Na automação da ETA 2, está contemplada a monitoração de todas grandezas químicas e físicas do tratamento. Nesta monitoração, na macromedição de vazão já existente, assim como, na que ainda precisa ser implantada, na medição de nível de reservatórios, na micromedição, nas medições necessárias para automação dos sistemas elevatórios (monitoração e ação remota) é de suma importância, já que são medições primordiais para o controle dos sistemas, que a confiabilidade dos resultados de medição dos instrumentos envolvidos seja garantida, o que inclusive esta previsto na norma ISO 9001:2000 [ISO/ABNT, 2000].

O conhecimento amplo e satisfatório sobre o processo como um todo somente existirá quando este for medido e para a garantia da confiabilidade de qualquer instrumento de medição e conseqüentemente das informações que este fornece, é necessário um sistema de comprovação metrológica.

Um sistema de comprovação metrológica eficaz e eficiente necessita, no mínimo, garantir a rastreabilidade dos instrumentos, estimar a tendência de cada instrumento e avaliar as incertezas de medição envolvidas.

É imprescindível, que sejam mantidos instrumentos ou medidas materializadas, rastreáveis ao SI [INMETRO, 2000b], dentro da empresa e sob cuidados especiais, para serem usados como padrões de comparação.

As comparações são ferramentas para um programa de verificação metrológica periódica dos instrumentos de medição utilizados no processo. Também é necessário um controle de calibrações periódicas dos padrões, além de manutenção corretiva e preventiva de todos instrumentos.

Nenhum trabalho para a redução e posterior controle de perdas de água é eficaz e eficiente, se não houver um controle contumaz de todos os instrumentos de medição envolvidos no processo de produção e distribuição de água, já que a maioria das informações e dados necessários para a continuidade do abastecimento e gestão do sistema como um todo são baseadas em resultados de medições apresentados por instrumentos diversos.

O cadastro comercial, ou seja, todos os dados pertinentes a cada um dos usuários, existente no SAMAE, não deixa de ser uma ação importante no controle de perdas.

Não há como se controlar perdas de água, principalmente as aparentes, sem o conhecimento e a monitoração dos consumidores e de seus consumos mensais [SILVA, 1998, ALEGRE, 1999; ALVES, 2004].

O “cadastro técnico” [SILVA, 1998; FARLEY, 2001], tão importante quanto, estará quase totalmente completo e implantado através de geoprocessamento no ano de 2005.

O sistema corporativo de geoprocessamento é resultado de uma combinação de tecnologias e softwares, tendo por base a conversão de mapas digitais do cadastro para uma base de dados geográfica (geométrica e relacional). A partir dele é possível

sobrepor vários temas em um único mapa, incluindo imagens de satélite, aerofotogrametria, dados de GPS (sistema de posicionamento global baseado em uma rede de 24 satélites), rede física de água e seus equipamentos. O sistema é baseado em uma arquitetura open-GIS (sistema aberto), possibilitando o intercâmbio de dados entre plataformas de softwares distintos, de forma transparente, para usuários diversos. A estrutura permite a realização de análise crítica do cadastro de redes, criação de mapas temáticos, delimitação de abastecimento (setorização), além de servir como ferramenta de suporte nas análises de vários setores da empresa, como projetos especiais (modelagem hidráulica), comercial, manutenção, expansão, qualidade e operação. A estrutura também possibilita a interação com outras bases de dados, como as do IBGE, possibilitando assim um planejamento da expansão de redes [TORRESANI, 2005].

Tanto o cadastro comercial como o técnico, necessitam de atualizações constantes e confiáveis, portanto o trabalho não termina com suas implantações [ANDRÉS, 1995; BUTLER, 2000]. Outra ação muito importante e primordial, também por iniciativa da diretoria técnica, foi a solicitação da contratação do trabalho especializado de uma empresa para a modelagem matemática da rede de abastecimento de água de Blumenau.

A empresa contratada, após licitação, foi a BBL (Bureau Brasileiro Ltda), a qual realizou o trabalho juntamente com o setor de projetos especiais, inicialmente apenas na R9 (região de abastecimento 9), mas posteriormente expandida para as outras 5 (cinco). O trabalho permitiu o levantamento de uma série de dados, como: vazão e pressão em pontos específicos, estudos demográficos e a avaliação de demanda e de perdas.

As informações levantadas foram inseridas em um software de computador, o WaterCad (Haested Methods), o qual mostra os dados de forma espacial e detalhada, podendo simular como todo o sistema se comportaria, caso fossem modificadas situações, por exemplo, o aumento da rede em uma determinada região. A possibilidade de previsão através do levantamento de dados permitiu a aplicação da modelagem hidráulica, ou seja, um modelo para prever maneiras de intervir no sistema de abastecimento para sua otimização. Esta modelagem matemática da rede será ferramenta importante na estimativa de perdas e na tomada de decisões

[TORRESANI, 2005].

Uma das ações já sugeridas pela BBL, fruto da análise de perdas, com certeza eficiente em seu combate, é a redução ou readequação das pressões de operação em diversos setores, através de VRPs (Válvulas Redutoras de Pressão). A importância da ação é de certa forma óbvia, já que influenciará diretamente nas perdas reais e aparentes.

A incidência de vazamentos é proporcional à pressão na rede [LAMBERT, 2000; MALE, 1985] e quanto maior a pressão, ao passar do tempo, maior será o desgaste das partes móveis dos hidrômetros e conseqüentemente maiores os erros sistemáticos negativos na micromedição [HUDSON, 1994; LINUS, 1992].

Vale ressaltar que as pressões em vários setores da cidade são muito altas em comparação com outras regiões do estado e até mesmo do país, já que Blumenau se torna atípica neste sentido, devido às grandes diferenças de cotas manométricas existentes, as quais são causadas pelo relevo extremamente acidentado. Para exemplificar a ordem de grandeza das pressões de operação, alguns sistemas elevatórios de água tratada trabalham com pressões acima de 20 (2) bar (MPa), o que torna, conseqüentemente, difícil manter as pressões nos cavaletes, abaixo do máximo exigido pela ABNT NBR 12218, ou seja, de 5,0 (0,5) bar (MPa) [ABNT, 1994].

Outras ações, principalmente nos anos 2002 e 2003, foram a substituição de hidrômetros classe de vazão A, com mais de 5 (cinco) anos de instalação e a readequação de hidrômetros, principalmente de grandes consumidores. O retorno financeiro foi confirmado, pelo aumento do faturamento nesses consumidores, comprovado através do cadastro comercial.

Além do já descrito, foram definidas em planejamento estratégico no ano de 2004, ações para a redução de perdas, com responsáveis definidos, no entanto estas ações estavam dissociadas. Posteriormente, foi decidido que estas ações deveriam ser parte integrante de um conjunto, de um “Programa de Controle de Perdas” mais contundente e completo. Este programa deveria ser proposto em 2005, mas parece que foi esquecido na atual administração.

Dentre as ações já priorizadas, está a implantação de um “Programa de Manutenção Preventiva do Parque de Hidrômetros”, o qual este estudo se propõe a

fundamentar. O parque de hidrômetros é a população de todos hidrômetros instalados, de diversas classes de vazão e tipos de usuários, em um sistema de abastecimento de água, doravante chamado simplesmente de parque(s).

Em Blumenau, de certa forma, a manutenção preventiva (substituição programada) do parque já esta sendo realizada e acaba tendo resultados positivos, no entanto os períodos adotados na substituição de hidrômetros classe de vazão A com mais de 5 (cinco) anos, não foram delineados para as condições físicas e operacionais do abastecimento de Blumenau. Foi seguida a portaria nº 246 e o respectivo regulamento técnico do INMETRO [INMETRO, 2000], o qual se baseou em estudos realizados para outras regiões do país, tais como para São Paulo e Curitiba, que apresentam características, como “pressões de operação” [BENEDICT, 1984], bem diferentes de Blumenau.

Não se pode, portanto, ter certeza de o quanto esta substituição foi válida e eficiente e se o tempo utilizado como ótimo para substituição de hidrômetros em outras cidades, é adequado e ideal para Blumenau no que tange ao rendimento do parque. Da mesma forma o valor científico das informações obtidas e conclusões alcançadas podem não ser confiáveis, impossibilitando assim que decisões, principalmente sobre novos investimentos, sejam tomadas com base em fatos e em informações concretas.

Em Blumenau, portanto, a situação quanto a perdas de água, ainda é crítica, mas ações preliminares, além de outras específicas e isoladas, já estão sendo colocadas em prática e há uma preocupação crescente com o problema.

1.3 Proposta de trabalho

Neste trabalho é proposta uma metodologia para realizar levantamento analítico do desempenho de parques de hidrômetros. Esta metodologia foi aplicada na parcela, de hidrômetros classe de vazão A, do parque de Blumenau. É apresentado também, um estudo sobre a validade da substituição de aproximadamente 1600 (mil e seiscentos) hidrômetros domiciliares.

Os hidrômetros selecionados para substituição, no início deste trabalho, eram medidores unijato e multijato instalados em usuários com média de consumo mensal entre (1 e 40) m³, classe de vazão A e Y e classe metrológica A e B, todos com

transmissão mecânica. Eles comporiam uma amostra estratificada segundo o ano de fabricação para a realização do levantamento analítico. Os hidrômetros substitutos seriam medidores unijato, classe de vazão Y e metrológica B, com transmissão magnética e equipados com saída pulsada.

A análise dos dados do levantamento e de informações relativas à substituição se propõe a dar subsídios para a implantação da manutenção preventiva no parque de Blumenau. Os subsídios, mais especificamente, são as estimativas dos desempenhos dos hidrômetros domiciliares, nas diversas “faixas etárias”.

Espera-se que esta metodologia seja aplicável para estimativa do desempenho das outras parcelas do parque e para sua futura monitoração.

Pretende-se ainda, realizar estudos que evidenciem as influências da “instalação incorreta” [LINUS, 1992] e do escorregamento na submedição de hidrômetros.

Incluem-se considerações adicionais relevantes ligadas tanto ao acompanhamento do desempenho do parque, quanto a verificações metrológicas eventuais ou periódicas em hidrômetros, o que é uma necessidade específica das empresas de saneamento.

Finalmente é apresentada uma planilha de “avaliação de incertezas” [BIPM, 1998] utilizada neste trabalho, para os ensaios de verificação metrológica dos hidrômetros. Esta planilha pode ser utilizada na recepção e em ensaios “eventuais” e “periódicos” [INMETRO, 2000] de hidrômetros.

1.3.1 Elementos motivadores

A situação atual do saneamento e da metrologia nesta área impulsiona à pesquisa e sistematização de ações que levem à redução e ao controle de perdas de água. A cultura metrológica nas empresas de saneamento em geral, espalhada pelos procedimentos e normas concernentes, está muito aquém do estado-da-arte em metrologia.

A garantia da confiabilidade metrológica e de um bom desempenho dos hidrômetros, através da gestão sistematizada do parque, torna-se um importante passo para alcançar a eficiência [ANDRÉS, M., 1995; ARREGUI, F. DE LA C., 1998;

INÁCIO, 1999]. Mostra-se então a necessidade de um estudo e avaliação do comportamento do parque de hidrômetros e das atividades relativas aos laboratórios credenciados pelo INMETRO a realizarem ensaios em hidrômetros.

Os ensaios que serão contemplados pelo trabalho estão ligados diretamente com a “tendência (Td)” [INMETRO, 2000c] apresentada por hidrômetros pertencentes aos sistemas de monitoração e de medição para faturamento do SAMAE Blumenau.

1.3.2 Resumo dos Objetivos

- Verificação da eficiência e dos benefícios alcançados com a substituição de aproximadamente 1600 hidrômetros residenciais em Blumenau, realizada entre janeiro e maio de 2003;
- Proposta de metodologia para a estimativa do desempenho da parcela de hidrômetros residenciais do parque, aplicável em trabalhos futuros nas outras parcelas;
- Proposta de ações referentes a manutenção preventiva e confiabilidade metrológica desta parcela do parque, baseados na estimativa de seu desempenho;
- Diagnóstico dos principais problemas presentes na realização de ensaios de verificação de hidrômetros, com estudo das principais fontes de incerteza e avaliação da incerteza combinada;
- Avaliação de influências na submedição de hidrômetros;
- Proposição de alternativas para melhoria dos resultados de ensaios.

1.4 Estrutura da dissertação

No capítulo 2 é apresentada uma fundamentação teórica sobre perdas de água e proposições de aplicação da metrologia para o controle de perdas, as quais poderão ser alvos para trabalhos futuros.

No capítulo 3 são apresentados os fundamentos da micromedição, as normas e regulamentos que a regem, além dos principais tipos e características de medidores de água.

No capítulo 4 é apresentada a metodologia aplicada no estudo de caso relativo à substituição de hidrômetros, na estimativa do desempenho do parque e também na verificação da influência da instalação incorreta e do escorregamento na submedição de hidrômetros.

No capítulo 5 são apresentados os resultados dos ensaios realizados nos estratos de hidrômetros segundo o ano de fabricação e em hidrômetros novos.

No capítulo 6 são apresentadas as conclusões, recomendações e considerações finais deste trabalho destacando aspectos relativos à confiabilidade da micromedição e à verificação metrológica de hidrômetros.

Capítulo 2

Perdas de Água e a Metrologia

Para que índices de perdas satisfatórios sejam alcançados e mantidos em patamares aceitáveis, não são suficientes ações isoladas, mas várias ações ordenadas, organizadas e implementadas permanentemente [PNCDA DTA A1, 1999]. Um gerenciamento das perdas deve dispor de ferramentas que proporcionem o conhecimento do desempenho operacional e das perdas que ocorrem no sistema como um todo [SILVA, 1998].

Só um programa de redução de perdas elaborado com critérios, com metas e ações sistemáticas bem definidas, seguido de um sistema permanente de monitoramento, controle e combate ao desperdício, reduziriam esses índices e os manteriam, assegurando assim, a preservação dos mananciais de Blumenau.

Independentemente das ações visando identificação, hierarquização e as medidas para a redução e controle das perdas reais e aparentes nos sistemas de abastecimento de água, em outras empresas de saneamento ou propostas pelo PNCDA, requisitos mínimos devem ser atendidos [SILVA, 1998].

Devido à existência de sensíveis diferenças tanto nas causas e magnitudes das perdas, como no controle e em suas soluções, para facilitar o diagnóstico das perdas e a orientação para ações preventivas e corretivas, é desejável a subdivisão dos sistemas, a qual é um dos principais requisitos mínimos [SILVA, 1998; MALE, 1985]. A subdivisão significa basicamente a implantação de macromedição de vazão em pontos estratégicos, para possibilitar a análise de volumes movimentados nas

várias etapas do sistema de abastecimento de água [GONÇALVES, 1998].

Normalmente os sistemas podem ser divididos nos seguintes subsistemas:

- Captação – captação e adução de água bruta;
- Tratamento – a estação de tratamento de água (ETA) propriamente dita;
- Reservação – cisternas e reservatórios elevados;
- Adução – adução de água tratada, instalações de recalque nas saídas das ETAs e em alguns casos, reservatórios de regiões;
- Distribuição – redes de distribuição, elevatórias e boosters e ligações prediais.

O conhecimento dos volumes movimentados, através de macromedição é primordial para o controle de perdas [CASTILHO, 1999].

Na figura 1 é apresentado um esquema genérico para a subdivisão dos sistemas, além de siglas dos respectivos volumes movimentados (pontos estratégicos para macromedição).

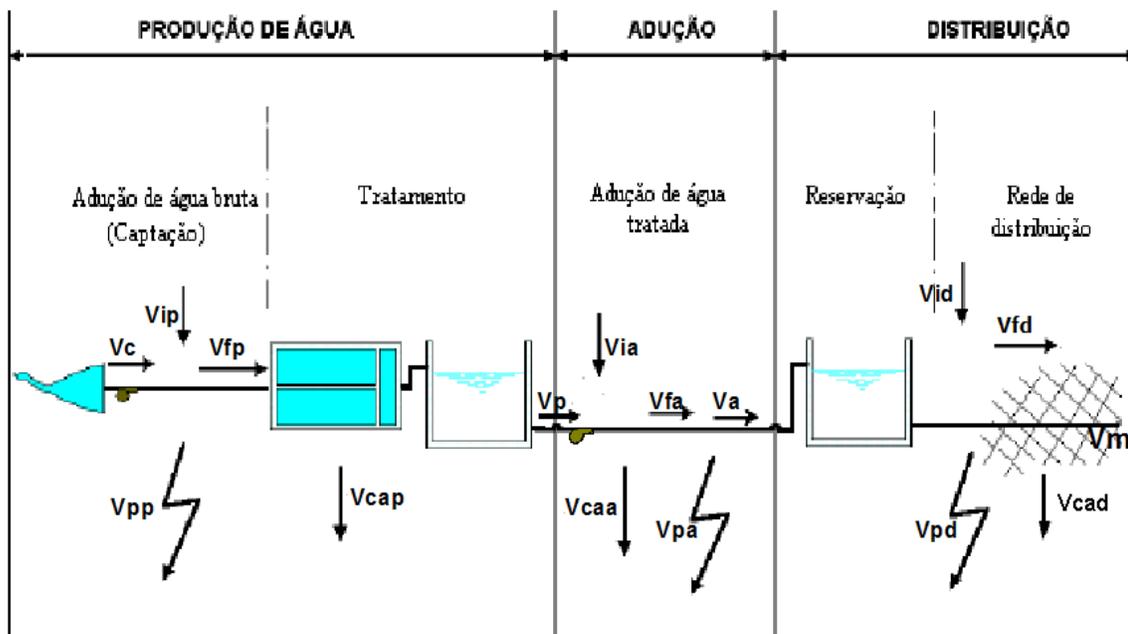


Figura 1 – Subdivisão de um sistema de abastecimento de água

Significado das siglas utilizadas na figura acima:

V_c – Volume captado;

V_{ip} – Volume importado na produção (não existente nos sistemas de Blumenau);

V_{fp} – Volume fornecido a produção ($V_c + V_{ip}$);

V_{cap} – Volume de consumo autorizado na produção;

V_p – Volume produzido;

V_{pp} – Volume de perdas na produção [$V_{fp} - (V_{cap} + V_p)$];

V_{ia} – Volume importado na adução;

V_{caa} – Volume de consumo autorizado na adução;

V_{fa} – Volume fornecido a adução ($V_p + V_{ia} - V_{caa}$);

V_a – Volume aduzido;

V_{pa} – Volume de perdas na adução ($V_{fa} - V_a$);

V_{id} – Volume importado na distribuição;

V_{fd} – Volume fornecido a distribuição ($V_a + V_{id}$);

V_{cad} – Volume de consumo autorizado na distribuição;

V_m – Volume micromedido;

V_{pd} – Volume de perdas na distribuição [$V_{fd} - (V_{cad} + V_m)$]

A subdivisão do sistema e implantação de monitoração dos volumes movimentados, através de macromedidores instalados nos diversos pontos estratégicos, aliada a existência de uma micromedição confiável, torna o diagnóstico factual, fornecendo uma base sólida para a tomada de decisões no combate às perdas [BUTLER, 2000; MALE, 1985].

Além da subdivisão do sistema, da implantação de macromedição e de micromedição, também são requisitos básicos, a setorização, o cadastro técnico e o cadastro comercial (de consumidores) [SILVA, 1998].

A setorização do sistema de distribuição deveria ocorrer a partir de um reservatório, o qual abasteceria uma área bem delimitada fisicamente, normalmente denominada de “setor de abastecimento”, que por sua vez, pode ainda ser dividido em subsetores. Outra possibilidade, não recomendada, mas muitas vezes necessária, é a distribuição ocorrer a partir de derivação de adutora, para atender determinado setor de abastecimento [GOMES, 2002]. Em qualquer das duas situações, com o monitoramento já citado, através de macromedidores instalados nas saídas dos reservatórios ou nas derivações para abastecimento dos setores, o percentual de

perdas específico de cada setor pode ser facilmente identificado e de posse destas informações decisões podem ser tomadas com garantia de retorno.

Já os cadastros técnico e de consumidores podem e devem ser considerados imprescindíveis na modernização da empresa de saneamento e na melhoria de controle e prestação de serviços [SILVA, 1998]. Com o avanço da informática, cada vez mais ágil e a existência de inúmeros softwares e equipamentos, a implantação dos cadastros tornou-se de certa maneira mais simples, no entanto, deve ser gradativa e bem planejada.

Dentre as ações possíveis, já praticadas, ou ainda, propostas por DTAs do PNCD, existem algumas que não requerem grandes investimentos, tal como, a “conscientização de pessoas chaves na operação” [BAGGIO, 1998], outras com investimentos consideráveis, mas com retorno garantido, outras nem tanto, mas, geralmente para garantir retorno dos investimentos e priorizar ações, são necessários estudos prévios detalhados.

O combate às perdas de água deve ser uma preocupação permanente, sendo para tanto necessário que pessoas ou até mesmo um setor da empresa, dependendo de seu porte, trabalhe constantemente com esta finalidade.

Qualquer que seja a ação, esta não pode ser isolada, é necessário o envolvimento de toda a organização, desde a alta administração, até seu último colaborador, além disto, os conceitos de perdas devem ser difundidos para todos, sem exceções [BAGGIO, 1998].

2.1 Caracterização de Perdas

Em sistemas públicos de abastecimento, as perdas de água são na realidade, volumes de água produzidos, mas não contabilizados ou faturados. Estes podem ser divididos em duas grandes parcelas: os volumes realmente não consumidos correspondentes às perdas reais (físicas) e os volumes consumidos, mas não registrados, correspondentes às perdas aparentes (não físicas).

Para cada parcela existem diversas causas com magnitudes diferentes. Os vazamentos na rede e ramais são as principais nas perdas reais e a micromedição a principal nas perdas aparentes [SILVA, 1998].

Para facilitar a análise das causas/influências de perdas, são apresentados

nas figuras 2 e 3, diagramas de causa-efeito de Ishikawa (diagrama espinha de peixe) para perdas reais e para perdas aparentes.

2.2 Perdas Reais

Considera-se como perda real, toda a água que é subtraída do sistema, mas que não é disponibilizada para o cliente final. Pode-se verificar, conforme a figura 2, que as perdas reais originam-se de vazamentos, extravasamentos e em procedimentos operacionais inadequados.

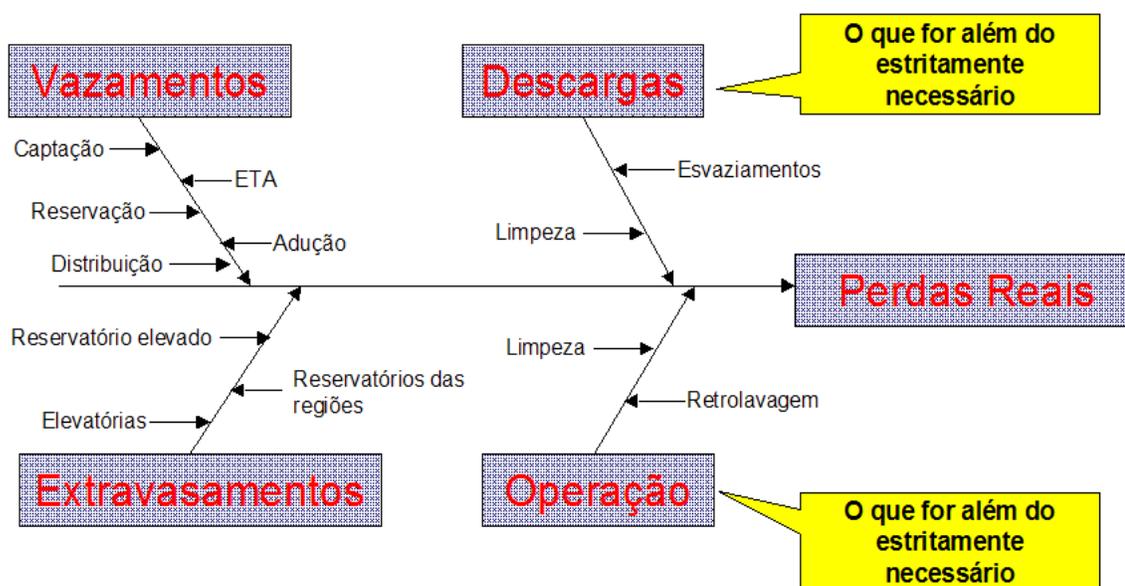


Figura 2 – Diagrama causa-efeito de perdas reais

Os vazamentos, parcela das perdas reais de maior magnitude, ocorrem em qualquer das etapas do sistema de abastecimento, tais como, no tratamento, nos diversos reservatórios existentes no sistema, na adução de água tratada e na distribuição, sendo na última, considerada a mais significativa. Na captação e na adução de água bruta, os vazamentos são considerados perdas se para aduzi-la tenha sido necessário consumo de energia.

Os extravasamentos, nos reservatórios das regiões e das elevatórias, ocorrem basicamente por falta de controle de nível. Perdas reais deste tipo podem ser consideráveis, o que é inconcebível, perante simples automação e conscientização de pessoal de operação através de treinamento.

As perdas devido ao consumo de água além do estritamente necessário na lavagem de filtros, limpezas de decantadores e descargas de redes não são causas de perdas de magnitude significativa. No entanto, se para estes procedimentos operacionais for usado o conceito de “consumos autorizados”, determinando o volume estritamente necessário, o retorno é garantido e não há a necessidade de grandes investimentos, bastando, simplesmente, treinamento e conscientização de pessoal de operação e manutenção.

Vale lembrar que treinamentos são previstos e muito cobrados na norma ISO 9001:2000 [ISO/ABNT, 2000].

2.3 Perdas Aparentes

No Brasil, como já mencionado, as perdas de água são de 40 % do total produzido, sendo que na maioria dos casos, as perdas aparentes representam 50 % das perdas [SILVA, 1998].

Na figura 3 pode-se verificar, que as perdas aparentes têm muitas causas, mas estas estão relacionadas diretamente ao conceito de que a água perdida foi produzida e consumida, mas não foi faturada.

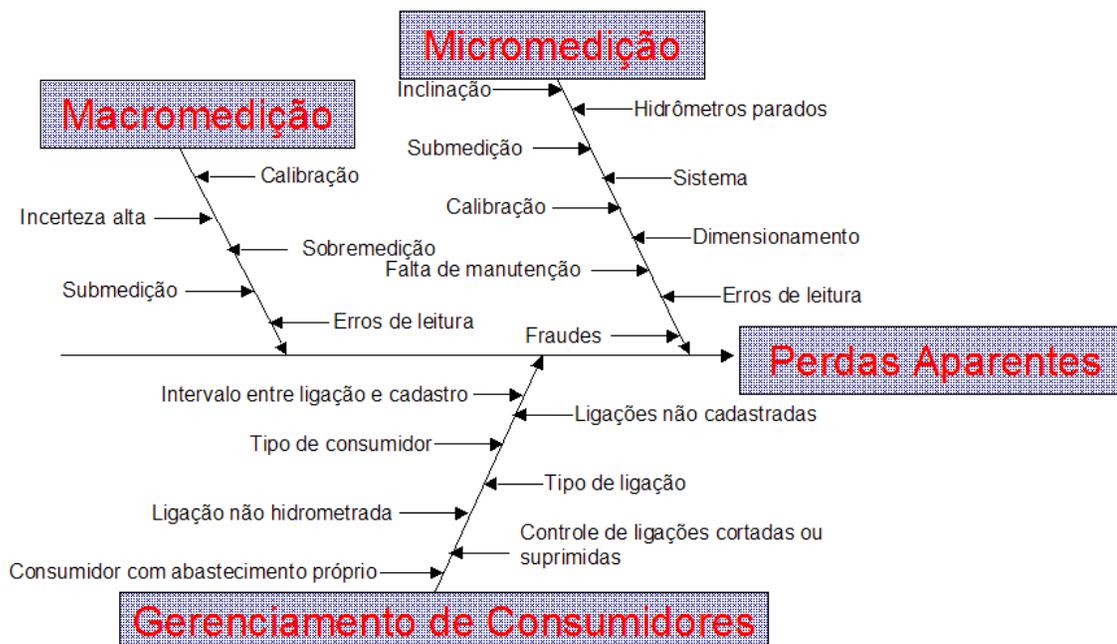


Figura 3 – Diagrama causa-efeito de perdas aparentes

A medição de vazão ou de nível em reservatórios e indiretamente dos volumes produzidos e entregues aos setores de abastecimento ou sub-regiões é chamada de macromedição [DELMÉE, 1983].

Os erros na macromedição levam a índices de perdas errôneos. Se o erro sistemático na medição de volume for positivo, águas podem não ser produzidas, mas computadas como tal e no outro extremo, com erros sistemáticos negativos, podem ser entregues, mas não computadas como tal [SOARES, 2000]. Portanto, caso os dados e informações não sejam confiáveis, não há como se obter a correta avaliação dos volumes movimentados e um controle contumaz.

É necessário um adequado programa de manutenção preventiva e corretiva dos macromedidores e seu controle metrológico através de calibrações e verificações periódicas e programadas [GOMES, 2002].

Se não houver um gerenciamento efetivo dos consumidores, com a permanente atualização do cadastro, o incremento no índice de perdas aparentes pode ser significativo [ALVES, 2004]. No entanto, espera-se que qualquer ação de controle, principalmente nas perdas aparentes, seja antecedida pela consolidação do cadastro de consumidores e também do técnico [SILVA, 1998].

As etapas de consolidação dos cadastros, no SAMAE Blumenau, podem ser consideradas cumpridas, bastando apenas atualizá-las continuamente.

2.3.1 Perdas na Micromedição

Estudos sobre perdas na micromedição começaram a partir de 1991, após ocorrerem discussões e polêmicas sobre o assunto, no 16º Congresso Brasileiro da ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária), mas apesar destas, um consenso foi que um sistema de micromedição bem gerenciado não pode admitir grandes perdas, com manutenção correta não são lesados a fornecedora nem os consumidores [LINUS, 1992].

A micromedição tem como indutores de perdas, as ligações clandestinas e irregulares, a ausência de hidrômetros e principalmente a deficiência metrológica dos hidrômetros [ALVES, 2004; AWWA, 1986; CAVALCANTI, 1996]. Garantir a confiabilidade da micromedição é uma ação importante para o controle de perdas,

pois a submedição no parque de hidrômetros, é considerada a maior parcela das perdas aparentes [PNCDA – DTA A1, 1999], sendo assim, o retorno financeiro, segundo experiências do próprio SAMAE Blumenau e de outras empresas, é considerável e garantido.

Segundo estudo realizado pelo INMETRO em Joinville – SC, 32 % do parque de hidrômetros foi reprovado, sendo que os erros de medição apresentados por hidrômetros são negativos em 95 % dos casos e, portanto, a favor dos clientes [ANACLETO, 2002].

Com base no descrito acima, foi determinado em planejamento estratégico no SAMAE de Blumenau, que seria uma ação importante e eficiente no combate a perdas e com um custo-benefício satisfatório, a implantação de manutenção preventiva (substituição programada) do parque de hidrômetros. O intuito principal é de se alcançar o melhor desempenho possível do parque.

Um programa de manutenção deve ser alicerçado em estudo que aponte para a realidade do sistema de abastecimento em questão, a periodicidade ótima de substituição de hidrômetros [AWWA, 1966; ARREGUI, 1998]. Para cada uma das parcelas do parque, deve ser estimada a periodicidade de substituição ou simples verificação metrológica de hidrômetros [INMETRO, 2000]. Esta deve ser baseada na “tendência” [INMETRO, 2000c] apresentada pelos hidrômetros, levando-se em conta a idade (tempo de instalação) e as classes metrológica e de vazão.

2.4 A Metrologia como Ferramenta para a Redução e Controle de Perdas de Água

Na proposição inicial deste trabalho, no final do ano de 2002, foram elencadas e propostas ao SAMAE de Blumenau várias atividades de aplicação de metrologia para a redução e controle de perdas, não só de água como também energéticas. Foram estas:

- Realizar estudo do desempenho metrológico do parque de hidrômetros e de custo-benefício da substituição de hidrômetros e a partir deste planejar e implantar um programa de manutenção preventiva no parque de hidrômetros, a fim de garantir, a confiabilidade da micromedição;

- Verificar a viabilidade técnica e econômica do uso de hidrômetros de classe metrológica C em pequenos (residenciais e comerciais) e grandes consumidores e de hidrômetros e registradores eletrônicos com a possibilidade de telemetria em grandes consumidores;
- Verificar a viabilidade técnica e econômica da criação de um laboratório de verificação metrológica de hidrômetros, com a concepção e montagem de uma bancada automatizada de ensaios ou contratação de empresa, para a inspeção de hidrômetros em sua aquisição e também para sua monitoração, garantindo ainda mais a confiabilidade do parque;
- Usar os resultados dos estudos para implantar um gerenciamento efetivo e permanente do parque de hidrômetros;
- Realizar estudo para calibração “in situ” de macromedidores de vazão e de nível de reservatórios, com o intuito de garantir a confiabilidade também da macromedição;
- Tratar questões relativas à setorização do sistema de distribuição, concomitante com a implantação de macromedição de vazão;
- Realizar estudo para a implantação de telemetria e telecomando na rede de distribuição e nas elevatórias e boosters de água tratada, aliada a um programa de calibração e verificação metrológica dos instrumentos de medição envolvidos;
- Tratar questões relativas aos cadastros técnicos e de consumidores.
- Verificar a necessidade e viabilidade da criação de uma seção ou divisão de metrologia no SAMAE de Blumenau, com a função de continuidade dos trabalhos propostos, garantia da confiabilidade dos diversos instrumentos de medição e monitoração do processo de tratamento e distribuição de água potável.

As proposições iniciais tiveram entraves de ordem financeira e política, que ocasionaram um atraso de aproximadamente um ano no andamento do trabalho e finalmente apenas para o primeiro item das proposições foi possível a realização, mesmo porque já estava previsto a troca de hidrômetros com mais de 5 (cinco) anos de uso.

Neste período não foi possível realizar nada além de levantamento

bibliográfico, de estudos, de planejamento do trabalho e de análise e levantamento, através do cadastro comercial de consumidores, dos hidrômetros instalados na cidade de Blumenau.

Em princípio o estudo seria realizado de forma que os usuários com cavaletes equipados por hidrômetros de classe de vazão A e Y, e classe metrológica B, fossem estratificados segundo faixas de consumo de amplitude de 40 m³ entre 1 m³/mês e 200 m³/mês. A utilização destas faixas de consumo mensal permitiria as estimativas dos volumes médios, por habitante, consumidos mensalmente antes e depois da substituição, com intervalos de confiança de pequena amplitude.

Para tanto, a análise dos hidrômetros instalados foi realizada de forma a determinar, filtrar e propor as necessidades imediatas de substituição nesta parcela do parque, buscando melhor faturamento. No entanto, paralelamente já haviam sido identificados e selecionados do cadastro comercial, pela diretoria técnica, aproximadamente 1600 (hum mil e seiscentos) hidrômetros instalados em usuários com consumo mensal entre (0 e 217) m³.

A maioria dos cavaletes selecionados eram equipados com hidrômetros classes de vazão A e classe metrológica B, de modelos e fabricantes diversos; estes acabaram sendo o alvo possível de análise da viabilidade da substituição.

Os hidrômetros em questão foram substituídos no período de janeiro a maio de 2003, por hidrômetros unijato de um único fabricante (S), todos com transmissão magnética, classe de vazão Y, classe metrológica B e equipados com saída pulsada.

Na continuação desta seção serão apresentados os resumos das principais proposições iniciais de aplicação de metrologia, as quais podem ser consideradas futuras ações no combate às perdas e também, no capítulo 3, os principais tipos de hidrômetros.

2.4.1 Uso de Hidrômetros Classe Metrológica C e Eletrônicos

Nos últimos anos houve uma preocupação com o desenvolvimento de hidrômetros domiciliares com melhor exatidão a baixas vazões. O mesmo não ocorreu com os hidrômetros de diâmetro igual ou maior que 1" (25,4 mm), cuja concepção estacionou.

Ressalte-se que hoje predomina no país, tanto em pequenos como em grandes

consumidores, o abastecimento indireto, através de reservatórios (caixas d'água dotadas de torneira bóia). É comum em alguns instantes, quando o nível do reservatório está quase no limite superior e a torneira bóia praticamente fechada, que a vazão de entrada seja muito pequena, muitas vezes inferior a vazão mínima ($Q_{mín}$) dos hidrômetros. Consequentemente estes volumes escoados a pequenas vazões, não são registrados.

Isto tem levado as empresas de saneamento básico do país a arcarem com grandes perdas de água e em decorrência grandes perdas de faturamento, devido aos elevados erros sistemáticos negativos a pequenas vazões.

Provavelmente devido ao pequeno número existente de grandes consumidores, os fabricantes não se preocuparam em investir no desenvolvimento de medidores que apresentassem erros de medição menores a baixas vazões. Isto devido, talvez, aos altos investimentos necessários ao desenvolvimento de um novo produto que tenha uma vazão de início de funcionamento ou “limiar de mobilidade” [INMETRO, 2000c] em vazões menores. Ao mesmo tempo as companhias de saneamento básico também não exigiram um melhor instrumento de medição.

O resultado é que os hidrômetros de maior diâmetro, fabricados hoje no país, deixam muito a desejar, possuindo uma vazão mínima ($Q_{mín}$) muitas vezes incompatível com o perfil de consumo dos edifícios, condomínios e empresas, ou seja, dos grandes consumidores [CAVALCANTI, 2002].

A utilização de hidrômetros de classe metrológica C em grandes consumidores, com certeza melhora o rendimento, no entanto, não atingiria níveis ótimos. Uma provável solução, seria a utilização de medidores de água compostos (descritos na subseção 3.2.1.a), desta maneira seriam medidos os volumes escoados a grandes vazões e também a pequenas vazões.

Uma outra opção poderia ser a utilização de hidrômetros e/ou registradores eletrônicos (descritos na subseção 3.2.3). Nestes medidores, normalmente são oferecidas saídas em coletor aberto que possibilitam a conexão a dispositivos periféricos tanto para controle e supervisão do consumidor quanto da concessionária.

Apesar de existir no mercado hidrômetros para pequenos consumidores de classe metrológica C (no capítulo 3 serão apresentadas as classes metrológicas), estes ainda são relativamente caros, consequentemente em Blumenau não há

hidrômetros desta classe metrológica instalados.

Um trabalho neste sentido poderia levar à conclusão de que o valor recuperado e, conseqüentemente, a perda de faturamento evitada, justificasse o investimento neste tipo de hidrômetros.

Como resultado da utilização de hidrômetros modernos de classe metrológica C, o erro sistemático a baixas vazões é minimizado, já que estes hidrômetros possuem um campo de medição maior, cobrindo mais amplamente o perfil de consumo dos consumidores [CAVALCANTI, 1996].

2.4.2 Criação de Laboratório de Hidrometria

Para a maioria das empresas, a certificação para as normas das séries ISO 9000:2000, tem sido ferramenta importante na busca pela qualidade. Estas normas têm como requisitos principais o foco no cliente e evidenciar a melhoria contínua.

A indústria em geral, para manter a qualidade de seus produtos (intermediários e/ou finais), é obrigada a realizar procedimentos bem definidos de inspeções diárias. Isto nas empresas realmente preocupadas em atingir metas, tais como qualidade, eficácia, eficiência além da preocupação, evidente pela concorrência no mercado atual, por um faturamento satisfatório.

Também não é diferente no mercado de compras, onde todos os produtos adquiridos, principalmente os essenciais para atingir as metas citadas acima, devem ser inspecionados quanto à conformidade com as especificações, sendo a viabilidade do preço analisada separadamente. Leva-se em conta, não somente o preço dos produtos, mas também os custos agregados tais como, de manutenção, depreciação temporal e rendimento energético.

Em qualquer destas inspeções, são necessários métodos de controle estatístico, baseados em dados confiáveis, para a garantia da qualidade.

No saneamento, garantir a qualidade no processo de produção de água potável, é comprovadamente importante para o desempenho da empresa prestadora desse serviço. Os novos tempos exigem uma maior eficiência e competitividade, satisfazendo as necessidades de seus clientes.

Neste processo, os procedimentos de análise química e física da água são primordiais e por isto mesmo, a confiabilidade destas análises deve ser garantida,

mantendo a qualidade da água dentro dos limites estabelecidos pela portaria nº 518, de 25/03/2004 do Ministério da Saúde [BRASIL, 2004]. Tão importante quanto, é a eficiência do sistema de faturamento, que em suma é baseado nos volumes movimentados e finalmente nos volumes micromedidos (hidrometrados).

Para a garantia da confiabilidade da micromedição, torna-se necessário um programa de manutenção preventiva do parque, manutenções corretivas adequadas e um sistema de dimensionamento de hidrômetros eficaz segundo critérios bem definidos [AWWA, 1986; GOMES, 2001]. É necessário o acompanhamento e a monitoração do rendimento do parque [ARREGUI, 1998], assim como, a verificação das características metrológicas dos medidores de água na sua aquisição, segundo o que preceitua a norma ISO 9001:2000, no requisito 7.4 [ISO/ABNT, 2000].

A monitoração do parque de hidrômetros e a recepção dos mesmos só é possível com a realização de ensaios conforme procedimentos preestabelecidos através de uma bancada para verificação metrológica de hidrômetros.

Resta verificar e confirmar a viabilidade e os custos para este trabalho ser contratado de uma empresa externa ou ser, a exemplo de outras empresas como a SANEPAR, realizado internamente em um laboratório próprio de ensaios em hidrômetros.

O laboratório poderia ser concebido, projetado e montado internamente, até mesmo com uma bancada com a verificação automatizada, já que o SAMAE possui pessoal capacitado para isto.

2.4.3 Calibração “In Situ” de Macromedidores

No caso do SAMAE de Blumenau onde a macromedição é formada basicamente por “medidores de vazão eletromagnéticos” [ISO, 1992], os mesmos já são desenvolvidos e preparados previamente em fábrica para fornecerem a saída direta em vazão e volume [DELMÉE, 1983; ISO, 2001]. Esses medidores sofrem uma calibração no final de seu processo de fabricação, sendo muitas vezes já fornecidos com um certificado de calibração.

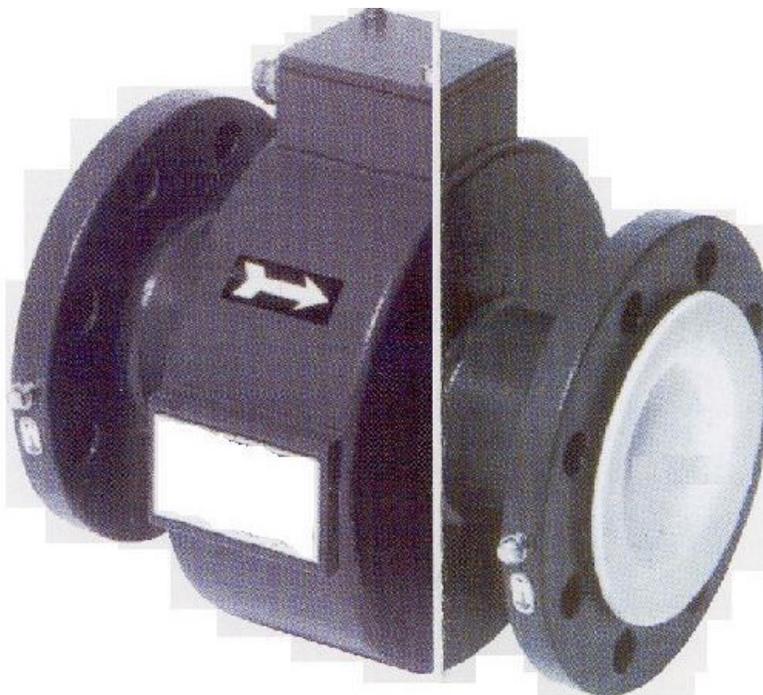


Figura 4 – Medidor de Vazão Eletromagnético

Assim como em todos instrumentos de medição a calibração original de fábrica deve ser periodicamente verificada, pois o medidor de vazão pode sofrer alterações e mau funcionamento com o passar do tempo.

A verificação de instrumentos de medição deve ser feita, normalmente, em laboratórios credenciados, onde há um maior controle das incertezas [BIPM, 1998]. Entretanto, esta verificação não é possível, devido às grandes dimensões e condições de instalação dos macromedidores e também devido ao fato de que no Brasil existe apenas um laboratório credenciado à RBC para calibração da grandeza vazão (de água), o do fabricante CONAUT. Torna-se, portanto, necessário a determinação de uma metodologia de verificação e ou calibração sem que o medidor seja retirado da rede, “in situ” [GOMES, 2002].

E. Cole na década de 1930, apresentou uma metodologia em que desenvolveu procedimentos para calibração dos medidores no local onde os mesmos estão instalados. Ele se utilizou dos conceitos de medição de vazão utilizando tubos de Pitot [Cole, 1935; ISO, 1977; ASTM, 1990].

Estes conceitos têm sido desenvolvidos e melhorados ao longo dos anos com a disponibilidade de medidores de pressão e registradores automáticos de leituras (data loggers) [GOMES, 2002; OMEGA, 2004].

Um problema nesta metodologia, se usada para calibração de medidores eletromagnéticos, é que a incerteza de medição do padrão seria maior que a dos medidores a calibrar.

Partindo da necessidade da melhoria da confiabilidade dos índices de perdas e melhor conhecimento da tendência e das incertezas envolvidas na macromedição, torna-se importante a calibração dos medidores de vazão e nível. Ressalte-se que no SAMAE, desde a instalação em 1997 nunca foi realizada nenhuma calibração e portanto suas informações não são confiáveis.

Este trabalho deve ser desenvolvido nos 08 macromedidores de vazão do sistema de tratamento e distribuição, nos medidores de níveis dos 05 grandes reservatórios, expandido posteriormente para os outros medidores necessários para a setorização. Devem ser estabelecidas metodologias mais rigorosas que os tradicionais métodos de “manuais de pitometria” ainda muito em uso no abastecimento de água.

2.4.4 Outras Aplicações

Além destas proposições, ainda há a possibilidade de aplicação de metrologia em um estudo para a garantia da confiabilidade dos ensaios de rendimento em motobombas.

O objetivo do ensaio é estimar com confiabilidade o rendimento energético de conjuntos motobombas, para fins de controle e manutenção ou até mesmo de confirmação de dados de fabricantes em sua aquisição.

Medições de vazão, pressão de sucção e recalque, rotação e das grandezas elétricas, tensão, corrente e fator de deslocamento são realizadas simultaneamente com repetições em intervalos definidos e cronometrados para cada grandeza, em conjuntos motobombas e respectivos acionamentos, em serviço.

As indicações de cada medição são anotadas em planilhas em papel e posteriormente lançadas em um programa de cálculo no Microsoft Excel, que fornece como resultado, entre outros, as curvas de rendimento teórico e real do conjunto

motobomba, no entanto não há uma avaliação das incertezas e o ensaio além de demorado, engloba um número considerável de pessoas.

Os ensaios são de suma importância para conservação de energia, já que permitem a tomada de decisão de investimentos na substituição de conjuntos, que apresentarem rendimentos tão baixos que os justifiquem.

Uma continuação para o estudo seria a viabilidade de ser desenvolvido um equipamento único que coletasse os dados de todas estas grandezas, através de transmissores específicos, agilizando, facilitando e melhorando a qualidade dos resultados. Ressalte-se que existe no mercado, para importação, um equipamento para este fim, entretanto este realiza um ensaio simplificado, com menos grandezas envolvidas e provavelmente com maiores incertezas de medição.

Dentre outras formas de alcançarem-se níveis ótimos de racionalização e conservação da utilização da água pode-se citar:

- Tarifação Horosazonal - Criação de postos horários de medição de consumo de água de acordo com o período do ano e controle das vazões máxima e mínima. Seriam criadas condições de implementação de rotinas de faturamento mais próximas do regime de fornecimento requerido pelo consumidor e das condições de fornecimento suportáveis pelo provedor, tanto no nível de sua estrutura física (redes de distribuição, captação e tratamento) quanto no nível dos recursos naturais disponíveis;
- Implantação de sistemas de telemedição em hidrômetros de grandes consumidores. Dentre outros serviços, a telemedição permitiria a redução do ciclo de faturamento, uma vez que, pode-se monitorar remotamente de forma programada ou aleatória os pontos de medição. Com isto seria evitada a necessidade de re-leitura e permitido também a automação da rede de distribuição com corte remoto de consumidores, ramais, etc.;
- Disponibilização de saídas de pulso para que o consumidor possa implementar rotinas de conservação e otimização da utilização da água, monitorando o seu regime de consumo a adequando-se à tarifa contratada;
- Disponibilização do perfil de consumo de cada cliente com os quais podem ser verificados:
 - Fator de carga de cada ramal e rede de distribuição como um todo;

- Nível de sazonalidade de cada região e consumidor;
- Contribuição do usuário final no carregamento total de forma setorizada;
- Quantificação de todos os elementos que contribuem para os níveis de carregamento da rede, etc.

Podem-se Estratificar os resultados potenciais das políticas de conservação e racionalização da utilização da água por setores envolvidos:

- Na concessionária de saneamento, a recuperação de receita através da:
 - Otimização das medições nos consumidores e da confrontação da água potável produzida e a efetivamente medida;
 - Otimização dos contratos de fornecimento através de sistemas de tarifação horosazonal;
 - Racionalização da utilização da água a fim de que sejam evitados investimentos desnecessários em ampliação de infra-estruturas de abastecimento.
- No setor industrial, monitoração on-line de consumo através de interface com a medição da concessionária a fim de que seja possível:
 - Implementação de rotinas de controle de carga a fim de garantirem-se vazões dentro de valores contratados;
 - Detecção de avarias na rede interna de distribuição (vazamentos);
 - Implementação de forma fácil e economicamente viável de medições de ramais por centros de custo dentro da empresa;

De forma generalizada pode-se afirmar que tais resultados impactariam positivamente em várias áreas do SAMAE e outras empresas de saneamento, tais como as de:

- Faturamento – Comercial;
- Orçamentos;
- Planejamento de Engenharia; e
- Operacionais.

No contexto da maioria das ferramentas disponíveis, para que sejam alcançados os objetivos das políticas de racionalização e otimização da utilização da água, estão inseridas medições diversas e, portanto a confiabilidade destas deve ser garantida.

Capítulo 3

A Micromedição

A micromedição é o conjunto de ações, que permite conhecimento sistemático do volume de água consumido em um sistema de abastecimento de água, garantindo que o mesmo seja o normal e esperado, dentro de padrões estabelecidos e ainda, com um sistema tarifário adequado, que a cobrança seja justa e eqüitativa pelos serviços prestados [LINUS, 1992].

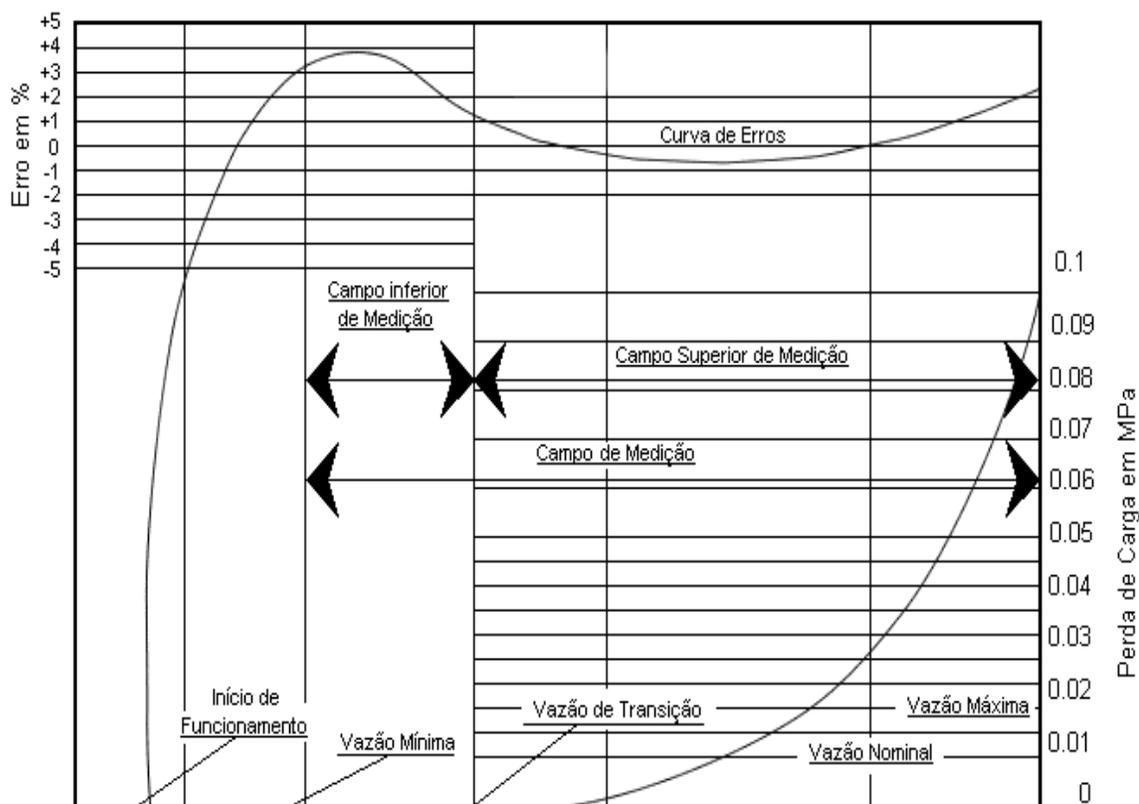
O consumo de água pode ser expresso quanto à quantidade pelo volume e quanto à forma pelos perfis e histogramas de consumo.

Os hidrômetros, ou medidores de água, principais equipamentos da micromedição, são instrumentos de medição utilizados para se conhecer os volumes consumidos pela economia a jusante do mesmo, entre duas leituras. Na realidade, apesar de utilizarem princípios de medição de vazão não se tratam de medidores de vazão instantânea, já que dispõem de “dispositivos totalizadores” [INMETRO, 2000c] do volume que os atravessa, as chamadas “relojoarias” do hidrômetro.

O uso de hidrômetros se limita ao conhecimento dos volumes com fins de controle e faturamento, se bem que hoje em dia já há modelos que incorporam circuitos eletrônicos capazes de realizar funções adicionais, tais como, determinar vazões históricas, vazões de pico, tempo girando, etc. Também existem modelos dotados de saídas de pulsos capazes de emitir um sinal elétrico cada vez que o totalizador contabiliza um volume determinado. Uma memória interna acumula os dados e o volume acumulado pode ser lido tanto no local como remotamente.

A portaria n° 246 de 17 de outubro de 2000 e o respectivo Regulamento Técnico Metrológico do INMETRO [INMETRO, 2000], baseados na recomendação R-49 da Organização Internacional de Metrologia Legal [OIML, 2004] regulamenta legalmente a homologação de modelos, testes, verificações periódicas ou eventuais e os limites para manutenção e/ou troca dos medidores de água. A portaria estabelece também as condições que medidores de água fria de vazão nominal de (0,6 a 15) m³/h, devem satisfazer.

Quanto a curvas de erros para hidrômetros novos, a portaria determina, conforme exposto na figura 5, que a tolerância para o erro médio, no campo inferior de medição seja de $\pm 5\%$ e no campo superior de $\pm 2\%$.



Classe Metrológica	A	2	5	10	50	100%
Classe Metrológica	B	1	4	10	50	100%

Figura 5 – Curvas de erros e perda de carga (INMETRO, 2000)

Como verificado na figura acima, são determinados dois campos de medição limitados pelas vazões de especificação dos hidrômetros, sendo o campo inferior de

medição entre a vazão mínima (Q_{\min}) e vazão de transição (Q_t) (exclusive) e o campo superior pela vazão de transição (Q_t) e vazão máxima (Q_{\max}) [INMETRO, 2000].

O valor de especificação Q_{\max} estipula a máxima vazão admitida em curtos intervalos de tempo, comuns na abertura brusca de registros, no entanto o hidrômetro não deve ser dimensionado pela Q_{\max} . Se no histograma de consumo do usuário onde ele estiver instalado, predomine vazões próximas à máxima, certamente seria danificado mais rapidamente. O dimensionamento correto deve prever que o perfil de consumo esteja entre a vazão mínima e a vazão nominal ($Q_n = 0,5 \cdot Q_{\max}$).

O item 8 (oito) da portaria nº 246 do INMETRO trata das verificações periódicas e eventuais e estabelece: as verificações periódicas são realizadas em hidrômetros em serviço em intervalos não superiores a 5 (cinco) anos; as verificações eventuais são realizadas a pedido do usuário ou quando as autoridades competentes julgarem necessárias; tanto as verificações periódicas como as eventuais devem ser executadas sob condições apropriadas em instalações especificamente aprovadas pelo INMETRO; o ensaio de verificação das curvas de erros dos hidrômetros deve ser executado, pelo menos, nas três seguintes vazões [INMETRO, 2000]:

- a) entre $0,45 Q_{\max}$ e $0,5 Q_{\max}$;
- b) entre Q_t e $1,1 Q_t$; e
- c) entre Q_{\min} e $1,1 Q_{\min}$;

A portaria estabelece também, que os hidrômetros em serviço serão aprovados em verificações periódicas ou eventuais desde que os erros não ultrapassem os limites admissíveis de [INMETRO, 2000]:

- a) $\pm 10 \%$ entre Q_{\min} , inclusive e Q_t , exclusive, e
- b) $\pm 5 \%$ entre Q_t , inclusive e Q_{\max} , exclusive.

As características técnicas, metrológicas e os métodos de ensaios dos medidores de água potável fria são estabelecidos pela ABNT. Para medidores de água velocimétricos de vazão nominal até $15 \text{ m}^3/\text{h}$, classes metrológicas A, B e C, são estabelecidas pela norma ABNT – NBR NM 212 [ABNT, 1999], de novembro de 1999. As especificações e a padronização, estabelecidas respectivamente pelas normas ABNT – NBR 8193 [ABNT, 1997] e ABNT – NBR 8194 [ABNT, 1997b]. As características de medidores de água velocimétricos de vazão nominal de (15 a 1500)

m³/h pela ABNT – NBR 14005 [ABNT, 1997c] de novembro de 1997.

Estas normas são correlatas às normas ISO 4064-2 [ISO, 2001], porém menos abrangentes, pois estas incluem também medidores de água volumétricos e de turbinas de hélice, vazões até 15 m³/h e maiores, classe metrológicas A, B, C e D, além de exigências para as instalações dos medidores.

A tabela 3, apresentada abaixo, é válida para a norma ISO 4064-2 [ISO, 2001], e determina as classes metrológicas de hidrômetros conforme as vazões mínima e de transição.

Classe Metrológica	Valor numérico de designação do medidor N (N = vazão nominal em m ³ /h)			
	N < 15		N ≥ 15	
	Q _{min}	Q _t	Q _{min}	Q _t
Classe A	0,04.N	0,10.N	0,08.N	0,30.N
Classe B	0,02.N	0,08.N	0,03.N	0,20.N
Classe C	0,01.N	0,015.N	0,006.N	0,015.N
Classe D	0,0075.N	0,0115.N		

Tabela 3 – Classes metrológicas x Q_{min} e Q_t (INMETRO, 2000)

As normas ISO 4064-2 [ISO, 2001] não estabelecem valores para as vazões de início de funcionamento. Na figura 4, apesar de não fazer parte dos campos de medição, é apresentada a vazão de início de funcionamento, que nada mais é que o limiar de mobilidade do hidrômetro, ou seja, a maior variação do estímulo que não produz variação detectável na resposta do hidrômetro [INMETRO, 2000c]. Esta vazão é aceita informalmente como a metade da vazão mínima (0,5 x Q_{min}).

Ao contrário do Brasil, na Europa e América do Norte, onde predominam as situações de abastecimento direto, as vazões de início de funcionamento não são tão importantes. No Brasil onde predomina o abastecimento indireto (através de caixas d'água) são comuns vazões muito baixas, por vezes menores que a vazão mínima, portanto na norma da ABNT as vazões de início de funcionamento deveriam ser consideradas.

As vazões nominais normalizadas (em m³/h) pela ABNT para os medidores de água fria são: - 0,6; 0,75; 1,0; 1,5; 2,5; 3,5; 6,0; 10,0; e 15,0 [ABNT, 1999] e 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 100; 150; 250; 400; 600; 1000 e 1500 [ABNT, 1997c].

A norma ISO 4064-2 [ISO, 2001] é uma revisão da norma original, com ampliação do escopo de medidores de água, considerando, inclusive, a incorporação de eletrônica nos medidores. A OIML – R49 [OIML, 2004] encontra-se atualmente em fase de revisão. Da mesma forma, as normas ABNT NBR 212 NM e ABNT NBR 14005 necessitam de revisão e ampliação e de atualização compatível com a evolução tecnológica.

A venda de água potável é a principal fonte de receita de um serviço de abastecimento de água, então, além de uma estrutura de preços realista, é necessário que se tenha uma medição total e o mais exata possível.

Quando é citado que as medições dos volumes consumidos devem apresentar uma boa exatidão, entenda-se que estas devem garantir a ética na cobrança e que seja cobrado o justo, ou seja, que sejam contabilizados eventuais vazamentos nas instalações internas dos usuários, que não ocorra submedição e que, sobretudo, não ocorra sobremedição, assegurando também que desperdícios sejam evitados.

A inexistência de uma política de micromedição adequada pode constituir-se em um dos fatores responsáveis pela ineficiência operacional e comercial de uma empresa de saneamento básico, no entanto, uma micromedição eficiente, não se resume à aquisição, instalação ou troca de hidrômetros [AWWA, 1996, BUTLER, 2000].

Os hidrômetros devem ser adquiridos e recebidos com muito critério, dimensionados corretamente para cada consumidor. Isto só é possível, com a implantação de políticas corretas dirigidas à otimização da micromedição, tais como, adequação de hidrômetros conforme curvas de consumo, principalmente em grandes consumidores, implantação de manutenção preventiva do parque como um todo e uma constante e eficiente gestão do rendimento do parque [ANDRÉS, 1995; ARREGUI, 1998].

O controle de perdas na micromedição, foco deste trabalho, já é de certa forma bem difundido e conhecido como uma das ações mais importantes no combate a perdas.

Em 1997, em Curitiba - PR, constatou-se que ao lado dos vazamentos, as perdas decorrentes de erros negativos de medição (submedição) eram as mais significativas [NIELSEN, 2001].

Além de se buscar a totalidade das ligações de água, equipadas com medidores, torna-se necessário o conhecimento dos medidores de água utilizados e de seu desempenho ao longo do tempo, ou seja, ter o domínio sobre o parque de hidrômetros e de seu rendimento [NIELSEN, 2001; NIELSEN, 2003].

3.1 Principais Causas de Perdas na Micromedição ou de Faturamento

As perdas que ocorrem nas unidades finais de consumo podem ser agrupadas segundo os seguintes critérios [LINUS, 1992]:

- a) Desperdício dos usuários não equipados com hidrômetros e conseqüentemente sua negligência em consertar defeitos e vazamentos nas instalações internas, já que isto não diminuiria a taxa cobrada;
- b) Perdas por submedição ou até mesmo por ausência de medição, devido à falta de manutenção corretiva e preventiva dos hidrômetros e até mesmo pela estabilidade dos hidrômetros, ou seja, a aptidão do hidrômetros em conservar suas características ao longo do tempo;
- c) Perdas por submedição devido ao sobre dimensionamento dos hidrômetros;
- d) Desvio ou “by pass” fraudulento do hidrômetro.

3.2 Classificação de Medidores de Água

Os medidores de água podem ser divididos em duas grandes classes, hidrômetros velocimétricos e hidrômetros volumétricos.

3.2.1 Hidrômetros Velocimétricos

O princípio de funcionamento deste instrumento de medição baseia-se na correlação entre o volume de água, que atravessa o hidrômetro e a o número de voltas de uma turbina, a qual gira diretamente afetada pela vazão. A turbina é,

portanto, o “sensor” do hidrômetro [INMETRO, 2000c].

Dependendo do tipo do hidrômetro, o volume de água é introduzido no interior de uma câmara de medição, através de um ou vários orifícios de diâmetros e formas muito bem conhecidas e o fluxo pode ter direção perpendicular ou tangencial às palhetas da turbina, movimentando-a.

Para um mesmo diâmetro da turbina o número de voltas “N” será diretamente proporcional à velocidade de escoamento da água. Desta forma, o volume de água que atravessa o instrumento é obtido de:

$$V = K.N \quad \text{Equação 1}$$

Onde K é uma constante que depende da forma e superfície do orifício e do diâmetro da turbina [ASME, 1971].

As vantagens principais destes medidores são [NIELSEN, 2003]:

- Preço menor (relativamente aos volumétricos);
- Menor sensibilidade ao golpe de aríete;
- Possibilidade de funcionamento acima dos limites especificados em casos emergenciais;
- Baixa perda de carga (principalmente no unijato).

As desvantagens principais são [NIELSEN, 2003]:

- Vida útil menor;
- Necessidade de nivelamento (na horizontal e no prumo);
- Risco de submedição e de sobremedição.

Os hidrômetros velocimétricos são classificados em [NIELSEN, 2003]:

- Hidrômetro de jato único ou unijato;
- Hidrômetro de jato múltiplo;
- Hidrômetro Woltmann vertical (caso seja mal dimensionado apresentará desgaste precoce);
- Hidrômetro Woltmann horizontal;
- Hidrômetro composto (mede vazões altas e baixas separadamente);
- Hidrômetro hélice;
- Hidrômetro proporcional.

a) Medidores de Água Velocimétricos Unijato

Nos hidrômetros unijato (figura 6) a câmara de medição é a própria carcaça do instrumento e por isto são menores. Caracterizam-se pelo fato de que toda a corrente de água é orientada por um único conduto injetor sobre as palhetas da turbina.

O jato incidente sobre um único ponto da turbina ocasiona um desgaste excessivo do eixo precocemente, já que as condições do fluxo fazem surgir um empuxo radial resultante, que acarretará fatalmente a erros sistemáticos elevados e normalmente negativos.

Vale ressaltar que a simples instalação com o eixo da turbina fora da vertical, já ocasiona um prejuízo em suas características metrológicas [LINUS, 1992]. A instalação incorreta leva a um atrito maior sobre uma região do eixo, devido ao próprio peso da turbina, sendo as características metrológicas prejudicadas ainda mais pelo conseqüente desgaste excessivo.

Os fabricantes destes medidores de água orientam que eles sejam instalados com o eixo da turbina na vertical. Um hidrômetro classe metrológica B, por exemplo, instalado com o eixo na horizontal, conseqüentemente, passaria a ter as características de um hidrômetro classe metrológica A. Posteriormente, neste trabalho, a veracidade desta afirmação será comprovada.

A exatidão destes instrumentos pode ser ainda piorada pela obstrução do filtro a montante da câmara de medição, já previsto na fabricação, e pela mudança das dimensões internas devido à incrustação ou corrosão em hidrômetros de material inadequado. A obstrução do filtro ocasiona o aumento da velocidade de incidência do jato de água sobre a turbina provocando um desgaste precoce do eixo.

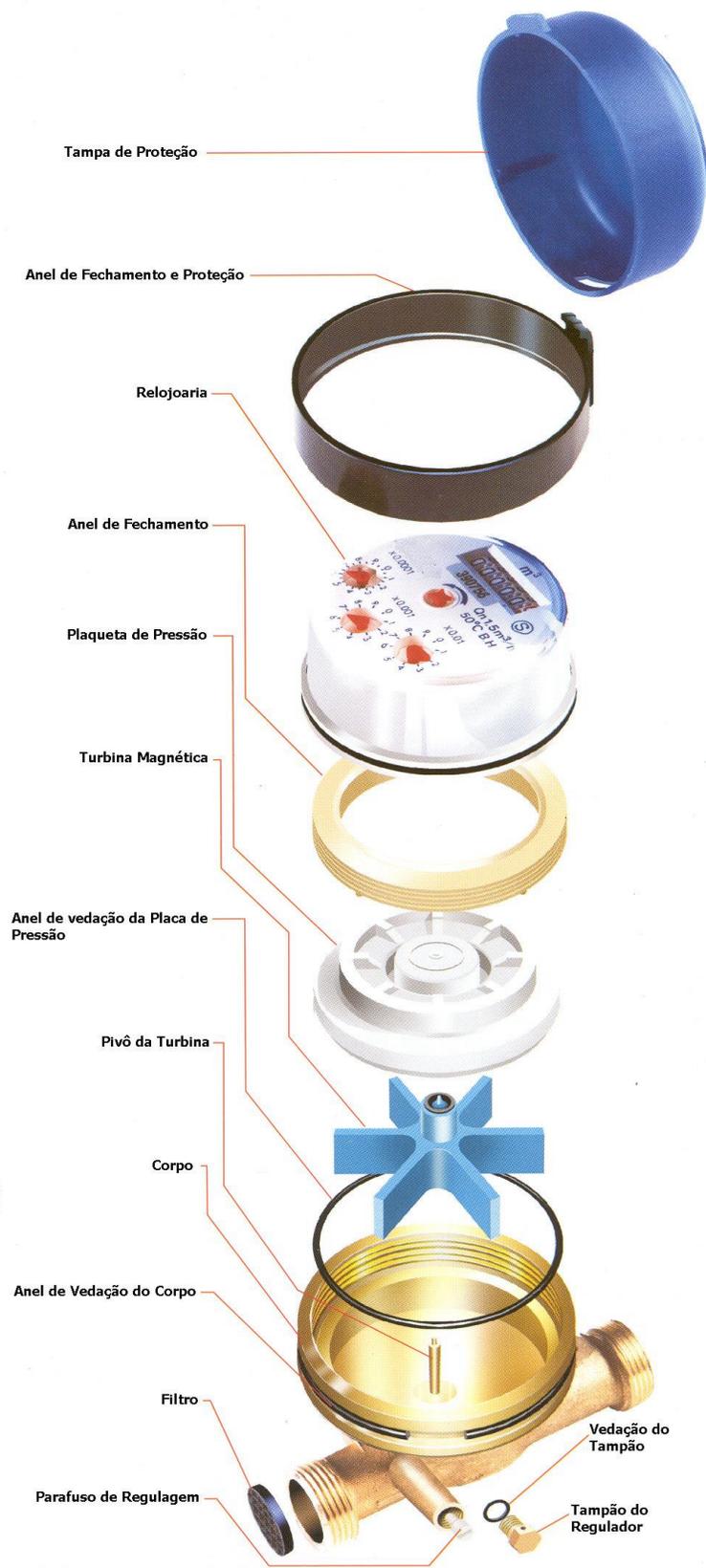


Figura 6 – Hidrômetro de jato único

O dimensionamento correto da válvula ou registro, que antecede os hidrômetros de transmissão magnética, também pode ser circunstancial na exatidão de sua medição [LINUS, 1992]. Caso forem utilizadas válvulas de esfera ou globo, na abertura destas, os hidrômetros podem apresentar “erros sistemáticos” [INMETRO, 2000c] negativos. Estes erros são causados pela mudança brusca de vazão, que leva a um escorregamento magnético ou perda de sincronismo do dispositivo registrador em relação à turbina.

Para hidrômetros de transmissão mecânica é suposto por algumas pessoas do setor que também ocorreria o problema, causado pelo escorregamento da turbina em relação ao eixo que transmite o movimento ao dispositivo registrador.

Serão apresentados posteriormente os resultados de ensaios para estimativa do erro sistemático devido a estes problemas.

Hidrômetros velocimétricos unijato estão disponíveis nas classes metrológicas A, B e C e nos diâmetros nominais normalizados de (15 a 100) mm [NIELSEN, 2003].

b) Medidores de Água Velocimétricos Multijato

Nos hidrômetros velocimétricos multijato (figura 7), ao contrário dos unijato, a corrente de água é dividida igualmente, por intermédio de uma caixa injetora, em múltiplos jatos orientados de baixo para cima. Os jatos incidem nas palhetas da turbina em vários pontos equidistantes, equilibrando as forças sobre a mesma e fazendo com que o empuxo radial resultante sobre o eixo seja praticamente nulo.

Em relação aos unijato, este tipo de medidor de água tem sua sensibilidade melhorada devido as diferenças na câmara de medição. Não apresentam desgaste precoce do eixo e conseqüentemente têm uma vida útil maior.

Devem ser instalados também com o eixo na vertical e no prumo e estão disponíveis nas classes metrológicas A, B e C e nos diâmetros nominais normalizados de (15 a 50) mm [NIELSEN, 2003].

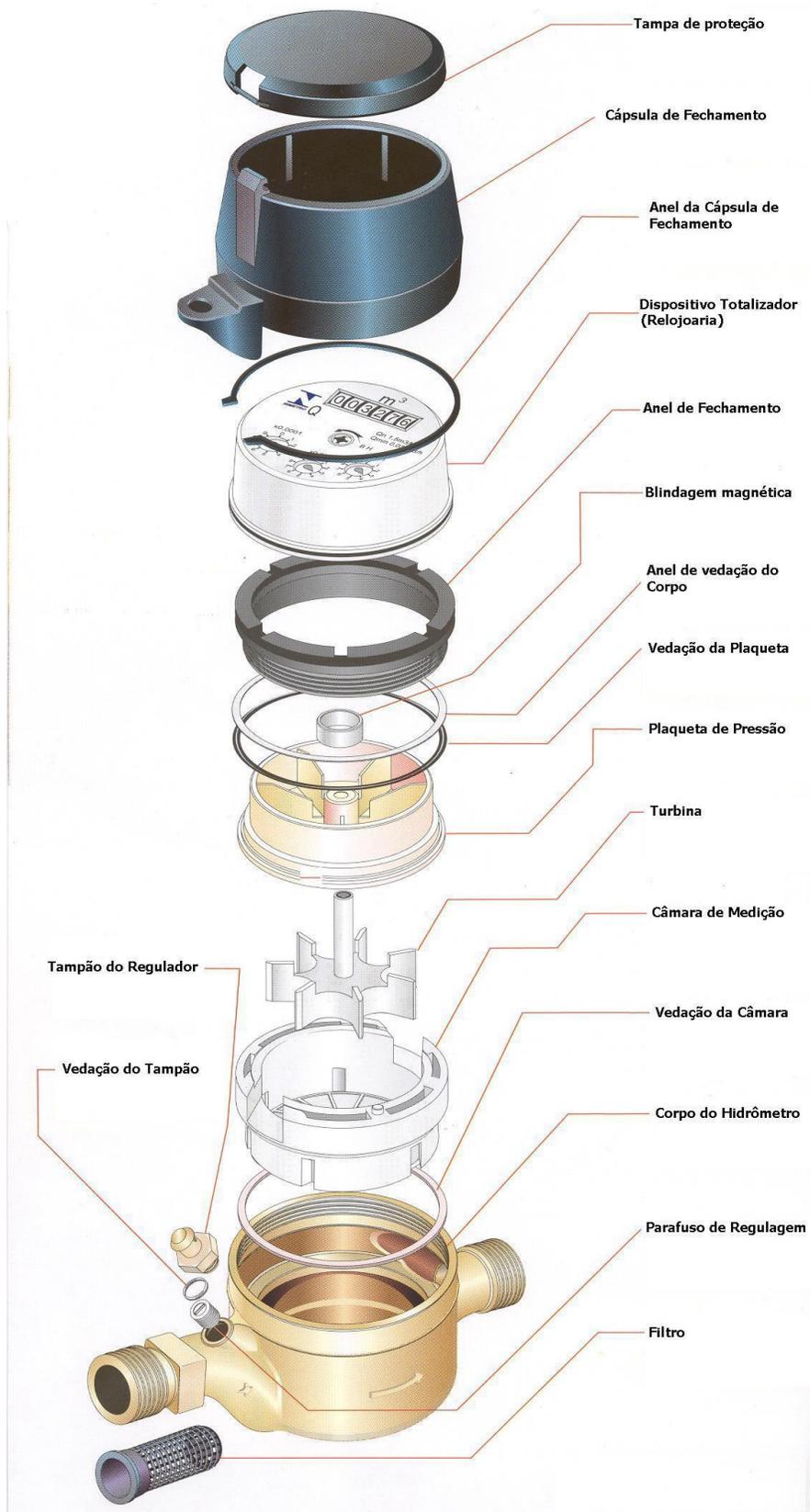


Figura 7 – Hidrômetro de jato múltiplo

c) Medidores de Água Turbina de Hélice tipo Woltmann

Nestes medidores a corrente de água passa através de um anel cilíndrico onde está alojada a turbina de hélice. A rotação da turbina é diretamente proporcional à velocidade da água, permitindo relacioná-la com o volume de água que a atravessa, já que as dimensões tanto do anel cilíndrico como da turbina são bem definidas e conhecidas.

Estes medidores apresentam baixa perda de carga, mas necessitam operarem sempre cheios, com boas condições de instalação, trechos retos a montante e a jusante do hidrômetro, além de boas condições de aproximação do fluxo para funcionarem com boas características técnicas e metrológicas [NIELSEN, 2003].

É recomendável que seja instalado a montante do medidor um filtro, pois os mesmos não são equipados com filtros e são sensíveis a presença de sólidos e de fibras que por ventura sejam transportados pela água. Existem dois tipos de medidores Woltmann. Nos horizontais, a turbina de hélice é coaxial ao eixo da tubulação e nos verticais, a turbina de hélice é perpendicular ao eixo da tubulação [NIELSEN, 2003].

Os medidores Woltmann horizontais podem ser instalados nas posições horizontal e vertical e estão disponíveis nas classes metrológicas A, B e B+, já os medidores Woltmann verticais somente podem ser instalados na horizontal mas estão disponíveis nas mesmas classes metrológicas dos horizontais [NIELSEN, 2003].

Comparando os medidores Woltmann horizontais com os verticais de mesmo diâmetro nominal e classe metrológica, os verticais apresentam menor vazão de limiar de mobilidade (de início de funcionamento), necessitam de trechos retos de tubulação a montante e a jusante de comprimentos menores e estão disponíveis para uma gama maior de faixas de vazão, em contrapartida apresentam maior perda de carga e máxima vazão de operação menor.

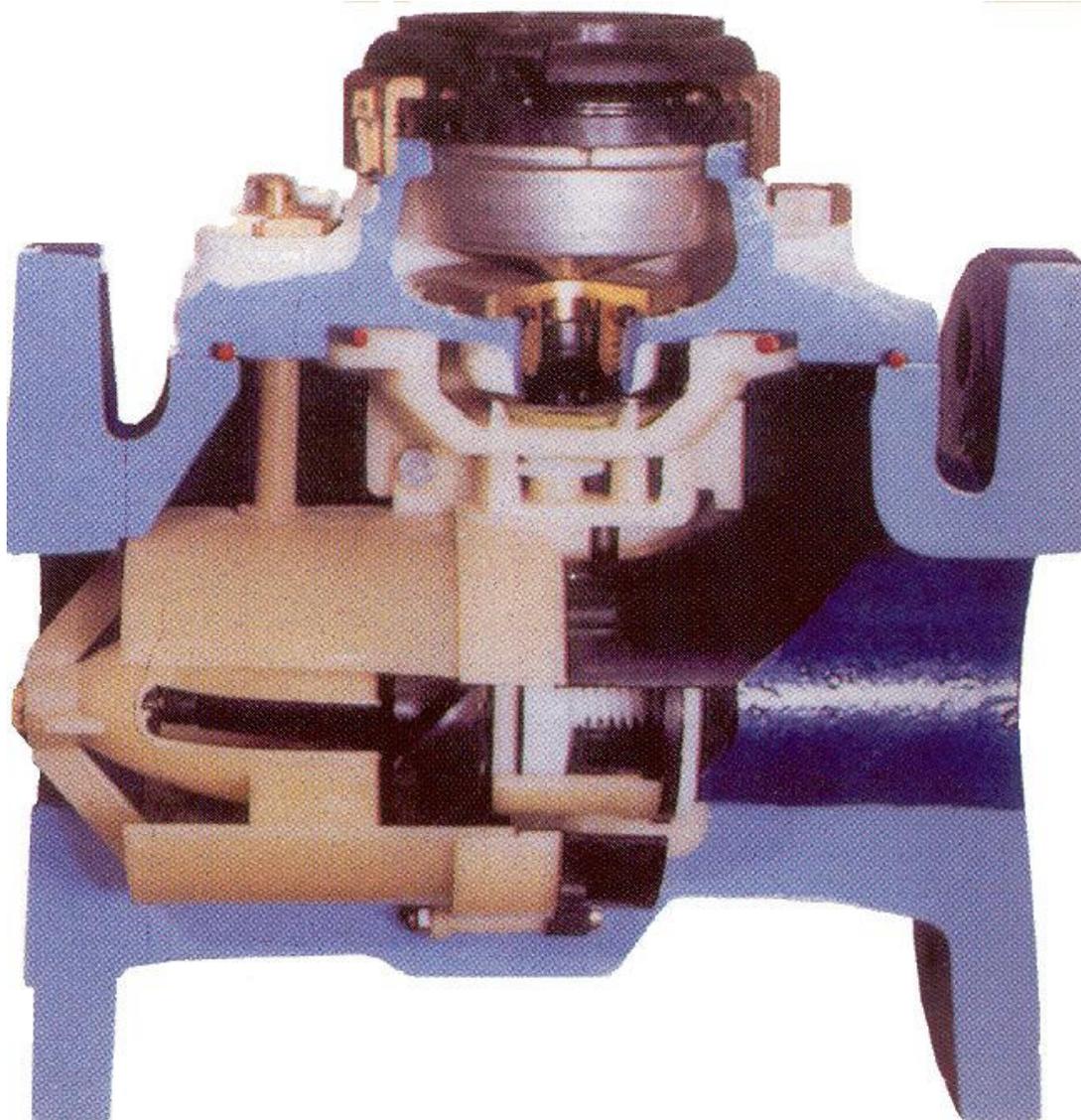


Figura 8 – Hidrômetro Woltmann Horizontal

d) Medidores de Água Compostos

Estes medidores são constituídos pela associação de um medidor principal, normalmente do tipo Woltmann horizontal, e um medidor secundário, normalmente do tipo velocimétrico multijato, além de um sistema de comutação, através de válvula(s), para operação dos medidores de maneira alternada ou paralela [NIELSEN, 2003].

São usados quando o perfil de consumo do usuário apresenta uma faixa de

operação ou medição muito ampla, onde ocorrem pequenas e grandes vazões de forma evidente e significativa ou ainda quando ocorrem sazonalidades ou horosazonalidades com predominância de pequenas e grandes vazões. O sistema de comutação opera para que se tenha uma melhor exatidão, tanto para medição de baixas vazões através do medidor secundário, como para medição de grandes vazões através do medidor principal.

O sistema de comutação pode ser para operação alternada, ou seja, a corrente de água atravessa apenas um dos medidores por vez, dependendo da posição da(s) válvula(s) de comutação ou para operação paralela, em que a corrente de água pode atravessar os dois medidores simultaneamente. Em pequenas vazões, a corrente de água atravessa somente o medidor secundário e neste caso a válvula de comutação está fechada. Em grandes vazões, atravessa os medidores secundário e principal simultaneamente, sendo que a válvula de comutação, neste caso, está aberta permitindo que os dois medidores operem em paralelo [NIELSEN, 2003].

Os medidores compostos não são homologados ou classificados metrologicamente, no entanto o são separadamente, ou seja, os medidores principal e secundário devem ser dimensionados e especificados individualmente observando-se as recomendações de instalação para cada um deles separadamente.

3.2.2 Hidrômetros Volumétricos

Nestes medidores um fluxo de água é gerado por um pistão ou disco que se move no interior da câmara de medição, que enche e esvazia continuamente, permitindo a passagem de um volume conhecido ciclicamente. O volume escoado através do medidor é proporcional ao número de voltas ou oscilações transformadas mecanicamente em rotações [NIELSEN, 2003].

Não há a possibilidade destes medidores serem usados, nem por um curto período, sob condições de vazão além do limite de projeto e os mesmos devem operar sempre cheios de água. Não há restrições contra as condições de instalação, nem de aproximação do fluxo, no entanto são muito sensíveis quanto a passagem de partículas sólidas que por ventura sejam transportadas pela água que os atravessa, podendo travar [NIELSEN, 2003].

Os hidrômetros volumétricos funcionam em qualquer posição, conservando

suas características metrológicas. Apresentam melhor exatidão em comparação com os velocimétricos, mesmo para pequenas vazões e sua vida útil é normalmente mais longa, em contrapartida são mais caros e ruidosos em altas vazões. As perdas de carga são maiores e apresentam maior sensibilidade a sólidos em suspensão, à partículas abrasivas e ao golpe de aríete.

Estão disponíveis nas classes metrológicas A, B, C e D, nos diâmetros nominais normalizados de (15 a 100) mm e nos tipos pistão (rotativo e oscilante) e disco nutativo (ou nutante) [NIELSEN, 2003].

3.2.3 Hidrômetros e Registradores Eletrônicos

Os registradores e hidrômetros eletrônicos têm como diferenças mais visíveis, a substituição de elementos mecânicos (dispositivos totalizadores com engrenagens) por elementos eletrônicos (display de cristal líquido, porta óticas de comunicação, etc.). Pode-se, ainda, diferenciar registradores eletrônicos de hidrômetros eletrônicos.

O registrador eletrônico, basicamente, possui um dispositivo onde as engrenagens e cilindros do totalizador foram substituídos por um conjunto eletrônico composto por microprocessador, bateria, display de cristal líquido, sensores, etc., sendo mantido, porém, o núcleo da medição baseado em turbinas e em câmaras de medição multijato ou unijato. Já o hidrômetro eletrônico, a nível de dispositivo registrador, mantém as mesmas características dos registradores eletrônicos, contudo incorporam ainda novos conceitos de medição, distintos dos já conhecidos, os quais são baseados em princípios como acoplamento magnético ou mecânico da turbina à relojoaria.

A figura 9 apresenta uma aplicação típica com este tipo de hidrômetros.

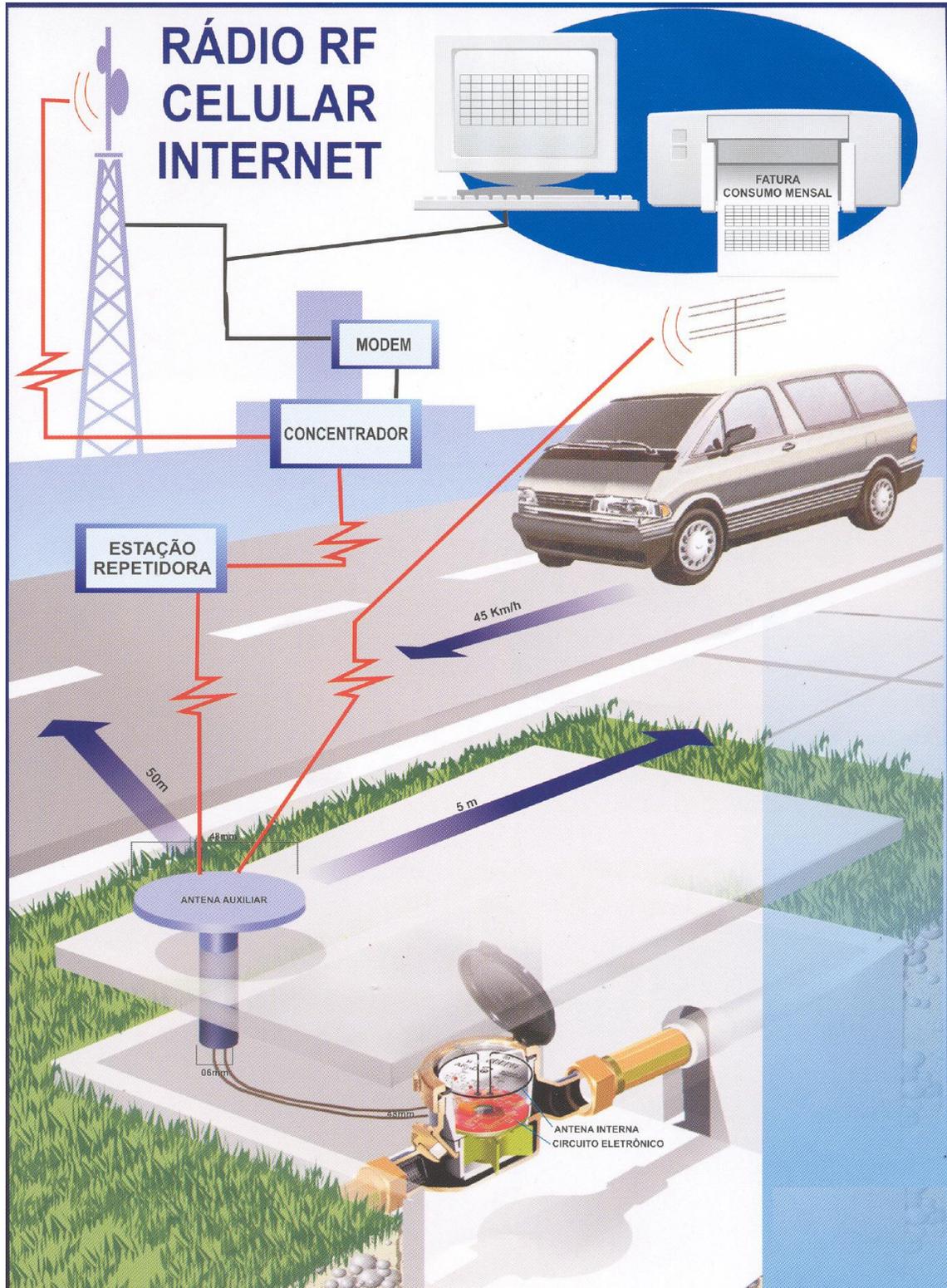


Figura 9 – Configuração Típica de Telemetria em Micromedição

As características mais importantes destes instrumentos são as

possibilidades da equalização da curva de erros de medição, uma vez que a curva característica do hidrômetro é programada em sua memória, possibilitando assim, a compensação do erro para cada faixa de medição e da disponibilização de informações adicionais tais como vazões máxima e mínima, fluxo reverso e consumo horário.

No registrador eletrônico a rotação da turbina é transmitida por acoplamento magnético a sensores do módulo registrador eletrônico. Um microprocessador interno avalia os sinais recebidos reconhecendo a direção de rotação e medindo o tempo requerido por revolução. Além destes dados o microprocessador calcula os valores de medição e em curtos intervalos de tempo executa rotinas de auto-teste.

Com relação ao hidrômetro eletrônico pode-se citar como um de seus diferenciais, a adoção de um princípio de medição com um padrão distinto, onde o ângulo de ataque do fluxo do líquido é radial ao rotor ao invés de tangencial como ocorre nos hidrômetros velocimétricos convencionais.

A transmissão da informação de vazão nos hidrômetros eletrônicos é feita através de sensores [INMETRO, 2000c], normalmente em número de 4 (quatro). Em oposição a este princípio existem a transmissão magnética e a mecânica ao dispositivo registrador nos hidrômetros velocimétricos atuais.

Por se tratarem de equipamentos eletrônicos, permitem a implementação de uma larga gama de serviços impossíveis nas medições mecânicas, tais como: multi-tarifação, detecção de fraude (fluxo reverso) e leitura remota.

Os hidrômetros eletrônicos, comparativamente a sistemas eletrônicos híbridos compostos por hidrômetro mecânico dotado de saída de pulso e de unidade terminal remota, apresentam como grande vantagem, a redução do número de componentes necessários a sua implantação. Em consequência simplificam e reduzem a probabilidade de falhas por defeito ou avaria. Em termos de imunidade a fraude e falhas por desgaste natural são muito mais robustos, inibindo inclusive as fraudes de caráter mais grosseiro. Não são tão susceptíveis a incidência de campos magnéticos quanto os hidrômetros convencionais com saída de pulso.

Mesmo possuindo funções de curva de carga e tarifação diferenciada, possuem saídas de pulso, que podem ser acopladas a data loggers [OMEGA, 2004] ou equipamentos de supervisão e controle do próprio consumidor, permitindo inclusive

a totalização externa de volumes em fluxo reverso.

As informações básicas disponíveis são: volume atual, auto teste do display, volume em data ajustada, a data ajustada, vazão atual, dias desde a ultima leitura remota, número de leituras remotas, volume desde a ultima leitura, volume em fluxo reverso (em separado), constante de pulso, volume restante até o próximo pulso, vazão mínima, vazão máxima e registro de valores medidos fora da faixa entre Q_{\min} e Q_{\max} .

Os registradores eletrônicos podem ser lidos localmente com coletores de dados apropriados. Para atender este propósito, o correspondente dispositivo de leitura deve ser conectado a um coletor ótico ou via "field bus".

3.3 Causas e conseqüências de defeitos em hidrômetros

O mau funcionamento de hidrômetros deve-se à:

a) Causa: desgaste das peças internas ocasionada pelo tempo de uso ou pela passagem da água em uma vazão elevada (acima da capacidade nominal do medidor) durante certo tempo;

Conseqüência: o erro sistemático de medição é modificado fazendo com que o medidor extrapole as faixas de tolerância definidas na portaria n° 246;

b) Causa: defeito de fabricação, que acarreta folga nos roletes do dispositivo registrador ou permite que o eixo da mesma caia de seus mancais quando submetido a uma batida forte;

Conseqüência: o consumo medido é alterado, pois a leitura não é real e sim fruto do posicionamento aleatório dos roletes. Este problema acompanhará sempre o aparelho, sendo detectado quando feito o exame do dispositivo registrador;

c) Causa: perda da capacidade de magnetização dos imãs do sistema de transmissão;

Conseqüência: o medidor tende a parar, ou apresentar um movimento de "para e anda" em função da vazão de abastecimento. O consumo medido é sempre menor que o real, ou mesmo não é lido. Também, é facilmente confirmado numa inspeção do hidrômetro;

d) Causa: furação da cúpula do dispositivo registrador e utilização de elementos externos, como agulhas, para trancar os roletes, retirando-a na época de leitura;

Conseqüência: alteração da leitura;

e) Causa: retirada do hidrômetro do cavalete, retirada do filtro e injeção de impurezas no mesmo (como cola, pedras, barbante, etc.) ou furação da câmara de medição;

Conseqüência: alteração da leitura e turbina parada;

f) Causa: inversão do hidrômetro no cavalete, para que o mesmo meça um fluxo reverso, ou seja, decemente o volume medido;

Conseqüência: alteração da leitura;

g) Causa: rompimento do lacre para a abertura do hidrômetro com o intuito de frear os roletes com calços (palitos, pregos, etc.);

Conseqüência: alteração da leitura;

h) Causa: golpes ou queima da cúpula do hidrômetro;

Conseqüência: hidrômetro danificado.

i) Causa: vazamento na cúpula do hidrômetro, a água sai por cima do medidor.

Conseqüência: o aperto dado no anel da cúpula quando da montagem não foi suficiente para garantir a vedação do dispositivo registrador. O vazamento de água ocorre somente a partir de determinada pressão e quando isso acontece, este volume não é registrado pelo hidrômetro e nem altera o consumo, pois não ocasiona movimento na turbina da câmara de medição.

É bastante comum o usuário confundir os vazamentos no cavalete, informando que é o hidrômetro que está vazando. Sem dúvida, a troca de um medidor pode acarretar vazamentos, principalmente nas manutenções preventivas, pois os ramais tendem a esclerosar-se com o tempo e o problema manifestar-se horas após o serviço de substituição ter sido realizado. Somente os vazamentos que ocorrem após o medidor são registrados pelo hidrômetro, podendo alterar o consumo.

Capítulo 4

Proposta de Metodologia

A metodologia proposta foi aplicada para a estimativa do desempenho do parque de hidrômetros de Blumenau.

Inúmeros autores identificam a ciência com o método, considerando este um sistema para explicar a frequência de ocorrências semelhantes.

O método científico busca elucidar a verdade ou a realidade dos fatos, contudo é mister que se entenda que o método é apenas uma ferramenta, e que sem a reflexão inteligente não se descobre o que os fenômenos realmente são [NAGEL, 1969].

O princípio de uma investigação decorre de um problema observado ou sentido, e para que se prossiga, é necessário selecionar a matéria a ser tratada e então, parte-se de uma pressuposição ou hipótese que orientará e delimitará o assunto em questão.

O método científico serve-se de etapas e processos, tais como a observação, a hipótese e a experimentação, aproveita ainda a análise, a comparação e a síntese, os processos mentais da dedução e indução, todos aplicados em investigação experimental ou racional [LAKATOS, 1988].

"Em suma, método científico é a lógica geral, tácita ou explicitamente empregada para apreciar os méritos de uma pesquisa" [NAGEL, 1969].

Denomina-se método experimental aquele em que as variáveis são manipuladas de maneira preestabelecida e seus efeitos suficientemente controlados

e conhecidos pelo pesquisador para observação do estudo. O método experimental é muito importante, pois possibilita a demonstração dos dados coletados, e esta é uma característica fundamental em se falando da validade da pesquisa realizada [LAKATOS, 1988].

Na maioria das vezes, o método experimental tem sido usado como base do progresso do conhecimento nas áreas científicas, pois ele é a coleta dos dados, de forma a conduzir respostas claras e diferenciadas em função de uma hipótese que envolve relações de causa e efeito. A principal função deste método é a demonstrabilidade. No caso dos resultados apresentados pelo método experimental deve-se divulgá-los tal e qual se apresentam, mesmo que tenham ocorrido fatos imprevistos durante sua demonstração e devem estar isentos de qualquer tipo de opinião pessoal [NAGEL, 1969].

Para a realização desta pesquisa, o estudo do desempenho de hidrômetros residenciais (classe de vazão A e Y) para fundamentar a posterior implantação de manutenção preventiva desta parcela do parque, o qual busca um resultado sob condições concretas, necessitou-se, antes de qualquer coisa, de planejamento.

Qualquer pesquisa deve ser muita bem planejada para poder apresentar resultados fidedignos e úteis [NAGEL, 1969].

Para a análise dos dados coletados de um parque de hidrômetros, sendo que a partir desta sejam obtidas inferências sobre o comportamento do parque, antes ainda de se ter posse dos dados, necessita-se de uma definição dos resultados esperados, das observações necessárias e também de um planejamento destas observações para operacionalizar um plano de amostragem.

Esta etapa inicial de planejamento permite, que, posteriormente, o resultado da análise dos dados de uma amostra da parcela de hidrômetros residenciais do parque, seja extrapolada para toda a população. O planejamento permite que decisões sejam tomadas sobre o todo, com base em um estudo confiável, orientado por objetivos e hipóteses pré-definidos, baseado na análise de dados amostrais e estimativas com intervalos de confiança satisfatórios.

4.1 Delineamento do Estudo da Submedição em Hidrômetros

Para a execução de uma pesquisa é necessário buscar-se opções lógicas e operacionais para a composição de delineamentos, que assegurem o valor científico das informações obtidas e das conclusões alcançadas.

Entende-se por delineamento, o plano estratégico da observação da realidade, que orientará o detalhamento posterior dos métodos e técnicas necessárias à execução da pesquisa [SILVA,1996].

De acordo com a natureza lógica e estrutural deste plano, as pesquisas podem ser reconhecidas como experimentos, quase-experimentos ou estudos observacionais [CAMPBELL, 1979].

Nos experimentos, a pesquisa é realizada através do controle da ocorrência de variáveis independentes para observar seus efeitos sobre as variáveis consideradas dependentes, sendo a validade dos efeitos assegurada por randomização, ou seja, pela criação de grupos equivalentes para comparação [SILVA, 1996].

Se não há como controlar a ocorrência da variável independente nem a alocação das unidades observadas a grupos de comparação, os delineamentos são considerados não-experimentais. Já quando é difícil o emprego da randomização, mantendo-se apenas o controle das variáveis independentes, considera-se o delineamento quase-experimental, normalmente se trabalha com voluntários ou grupos de conveniência [SILVA, 1996].

No caso da pesquisa alvo deste estudo, que se baseia no registro da ocorrência natural de características ou propriedades dos indivíduos, ou seja, do erro de medição apresentado por uma amostra da população de hidrômetros classe de vazão A e Y do parque de Blumenau, o delineamento denomina-se, estudo observacional. Esta pesquisa, um estudo observacional com total ausência de controle de variáveis e da randomização, pode ser chamada de corte transversal ou levantamento.

Para a realização deste levantamento é necessário buscar-se uma técnica estatística para criar condições favoráveis à comparabilidade dos grupos e reduzir a possibilidade da confirmação de associações espúrias, ampliando assim a validade das inferências pretendidas [FREEDMAN, 1998].

4.1.1 Levantamento por Amostragem

O levantamento por amostragem reúne características operacionais como as seguintes [SILVA, 1996]:

1. Aplica-se a conjuntos reais e finitos, compostos por elementos denominados “população de estudo”. Aqui a população de estudo são os hidrômetros (classe de vazão A e Y e classe metrológica B) instalados em consumidores residenciais nas seis regiões de abastecimento de Blumenau.
2. Os elementos podem ser seres humanos, animais, árvores, fichas, prontuários, domicílios, áreas ou objetos, tais como hidrômetros;
3. O erro apresentado por hidrômetros, a característica quantitativa neste caso, é observado em cada elemento e posteriormente agregado por meio de medidas estatísticas, tais como, média e desvio padrão, chamadas parâmetros ou valores populacionais;
4. Os dados são coletados em amostras das populações de estudo e as medidas calculadas (estimativas) passam a ser informação disponível para valores populacionais desconhecidos.

As tabelas 4, 5, 6, 7, 8 e 9, extraídas do cadastro de consumidores de Blumenau em 2002 pelo setor de projetos, apresentam a constituição do parque de hidrômetros em cada uma das 6 (seis) regiões de abastecimento de água. As tabelas estão organizadas pelo ano de fabricação dos hidrômetros (na vertical), sendo quantificados para cada ano o número de hidrômetros de cada classe de vazão (na horizontal). Os dados em vermelho estão simplesmente destacando os hidrômetros com mais de 5 (cinco) anos de uso na época.

Ano Fabricação	Classes de Vazão									Total Global
	A	B	C	D	E	F	G	Y	Vazios	
1977	1.505	6	3	21	1	8		1	5	1.550
1978	218	1								219
1979	1									1
1988	22									22
1989	488	1		4		1				494
1990	609			12		1				622
1991	639			6		1				646
1992	144			2		1				147
1993	16	1		4				4		25
1994	5							11		16
1995	1147			22	10					1.179
1996	2.723			12		8	1			2.744
1997	2.846	30	6	50		14	2			2.948
1998	1.438			21		3				1.462
1999	2.594			5	15	2				2.616
2000	1.002		2	27	6	6			1	1.044
2001	2.231			1				1		2.233
2002	90							1.798		1.888
Total	17.719	39	11	187	32	45	3	1.815	6	19.856

Tabela 4 – Constituição do parque de hidrômetros da região 1

Ano Fabricação	Classes de Vazão								Total Global
	A	B	C	D	E	F	Y	Vazios	
1977	211							16	227
1978	34								34
1988	8								8
1989	76								76
1990	109			2					111
1991	206								206
1992	18								18
1993							1		1
1994							1		1
1995	131			3	4				138
1996	504			1		2			507
1997	1154	19		8		3			1184
1998	543			4		1			548
1999	1052			1	3				1056
2000	315		3	10	1	3			332
2001	731						1		732
2002	58						1852		1910
Total	5150	19	3	29	8	9	1855	16	7089

Tabela 5 – Constituição do parque de hidrômetros da região 3

Ano Fabricação	Classes de Vazão									Total Global
	A	B	C	D	E	F	G	Y	Vazios	
1977	355		2	2		3	1		2	365
1978	70	1								71
1980				1						1
1988	44									44
1989	408			1						409
1990	390			4						394
1991	476					1				477
1992	70									70
1993								4		4
1994				3				14		17
1995	607			12	3					622
1996	2107			4						2111
1997	1849	4		24					1	1878
1998	479			4						483
1999	1902				7					1909
2000	633		4	7		5				649
2001	1299							3		1302
2002	32							351		383
Total	10721	5	6	62	10	9	1	372	3	11189

Tabela 6 – Constituição do parque de hidrômetros da região 4

Ano Fabricação	Classes de Vazão								Total Global
	A	B	C	D	E	F	Y	Vazios	
1977	510		1	11		3			525
1978	191								191
1988	26								26
1989	248		1	5					254
1990	334		1	11					346
1991	778			2		1			781
1992	82			2					84
1993	2			3			5		10
1994	2			1			7		10
1995	792			28	16				836
1996	2013			4		4			2021
1997	1820	25	4	38		9			1896
1998	852			25		5			882
1999	1993		1	6	13	1			2014
2000	991		10	21	4	6			1032
2001	1538								1538
2002	36						364		400
Total	12208	25	18	157	33	29	376		12846

Tabela 7 – Constituição do parque de hidrômetros da região 7

Ano Fabricação	Classes de Vazão									Total Global	
	A	B	C	D	E	F	G	Y	Vazios		
1977	111			2		1				1	115
1978	65		1								66
1988	6										6
1989	158										158
1990	195			1							196
1991	293			2							295
1992	49					1					50
1993				2				36			38
1994	788							465			1253
1995	1517			4	2						1523
1996	2070		1	1		3	1				2076
1997	2333	2		13		4					2352
1998	1034										1034
1999	2387				5	1					2393
2000	1172		2	3							1177
2001	1882										1882
2002	19							520			539
Total	14079	2	4	28	7	10	1	1021	1		15153

Tabela 8 – Constituição do parque de hidrômetros da região 9

Ano Fabricação	Classes de vazão				Total Global
	A	F	Y	Vazios	
1995	139				139
1996	33				33
1997	24	1			25
1998	21				21
1999	67				67
2000	15				15
2001	25				25
2002			6		6
Total Global	324	1	6		331

Tabela 9 – Constituição do parque de hidrômetros da região 10

Os levantamentos podem ter a finalidade descritiva ou ainda de estimarem médias e variâncias de características quantitativas, podendo além de estimar, também definir grupos de comparação para detectar relações entre as características. Aqui a relação que se deseja detectar é entre o erro de medição apresentado e o tempo de instalação do hidrômetro nas condições operacionais e de

instalação do sistema de distribuição de água tratada de Blumenau. Nesse caso é denominado de levantamento analítico ou investigação, o qual busca aumentar as explicações para os objetos estudados.

Um levantamento deste tipo, levando-se em conta uma seqüência lógica de atividades, pode ser dividido em três diferentes fases: construções conceituais, planejamento e amostra, e operações [SILVA, 1996].

4.2 Construções conceituais

A construção teórico-conceitual subdivide-se na etapa de formulação do problema, que define e caracteriza o objeto de estudo, dando um encaminhamento preliminar de hipóteses e expectativas sobre os resultados [SILVA, 1996].

Em Blumenau, o desempenho do parque de hidrômetros é desconhecido, mas com certeza está abaixo de um nível aceitável, pois como pode ser constatado nas tabelas de 4 a 9 (valores em vermelho), existia em 2002 e apesar de menor, ainda existe um grande número de hidrômetros com mais de cinco anos de uso e conseqüentemente já apresentam erros de medição elevados.

No final do ano de 2002 foi decidido, em planejamento estratégico, que antes mesmo de conhecer-se o desempenho do parque seria considerado prioritário seu aumento. O parque de hidrômetros deveria ser renovado, para que seu desempenho fosse elevado.

Como critério para a escolha dos hidrômetros a serem substituídos definiu-se um tempo de uso máximo usando-se como base, a portaria nº 246 de 17 de outubro de 2000 e o respectivo Regulamento Técnico Metrológico do INMETRO [INMETRO, 2000]. Em suma a portaria determina, que os hidrômetros que estão instalados em usuários residenciais devem ser substituídos ou pelo menos, avaliados quanto ao desempenho metrológico após 05 (cinco) anos da instalação, ou seja, que as verificações periódicas devem ser realizadas nos hidrômetros em serviço nestes intervalos.

Com intuito de obter-se uma exatidão ainda melhor, principalmente a pequenas vazões, foi definido que os hidrômetros escolhidos para a substituição, fossem substituídos por hidrômetros classe de vazão Y e metrológica B. Os medidores de classe de vazão Y são especificados para vazão nominal (Q_n) de 0,75

m³/h, inferior a vazão nominal de 1,5 m³/h dos medidores classe de vazão A e, portanto apresentam vazão mínima e de transição também inferiores.

Esperava-se que a utilização de hidrômetros classe de vazão Y e Classe metrológica B em usuários de baixo consumo fosse vantajosa no que tange ao desempenho da micromedição. A exatidão da medição dos volumes de água micromedidos provavelmente seria melhor, já que este hidrômetro pode ser comparado a um hidrômetro classe de vazão A e classe metrológica C a um custo de aquisição bem menor.

Como pode ser visto na tabela 3, no capítulo 3, a vazão mínima para hidrômetros classe metrológica B é 0,02.N e para classe metrológica C é 0,01.N, sendo N a vazão nominal, assim, tanto para hidrômetros classes de vazão Y e metrológica B, de vazão nominal 0,75 m³/h, quanto para hidrômetros classes de vazão A e metrológica C, de vazão nominal 1,5 m³/h, a vazão mínima é de 0,015 m³/h.

Como a maioria dos hidrômetros substituídos é de classes de vazão A e metrológica B, a vazão mínima passível de ser medida, considerando hidrômetros novos, já se reduziria à metade. Nos usuários residenciais, quase na totalidade com abastecimento indireto através de reservatórios de água, a incidência de pequenas vazões em seus perfis de consumo são preponderantes, então boa parte do volume anteriormente não registrado a pequenas vazões, após a substituição, seria.

A renovação do parque, por si só, não resolve o problema. Um desempenho aceitável deve ser mantido através de substituições de hidrômetros vencidos, programadas anualmente [INÁCIO, 1999].

A hipótese é que se conhecendo o desempenho do parque de hidrômetros seja possível estabelecer as necessidades de substituição, fundamentar a implantação de manutenção preventiva e determinar o tempo de vida útil dos hidrômetros com um rendimento metrológico satisfatório [HUDSON, 1964, AWWA, 1966]. Aliando isto a devida monitoração e execução da manutenção preventiva do parque, certamente haverá um aumento do seu desempenho e uma melhoria na exatidão dos volumes de água micromedidos, principalmente à pequenas vazões.

A substituição inicialmente acarretará em um aumento significativo da receita e posteriormente numa queda devido à eliminação de desperdícios por parte

dos usuários, mas mantendo a receita ainda acima da anterior a substituição. O usuário (cliente) será obrigado, se não quiser pagar por isto, a controlar e reduzir desperdícios, tais como pequenos vazamentos, no entanto não conseguirá evitar consumos necessários e anteriormente não registrados pelos hidrômetros. Indiretamente haverá um aumento da oferta de água tratada, sem investimentos no aumento da produção.

A expectativa é de que o tempo de 05 (cinco) anos estipulado para substituição, previstos pelo INMETRO na portaria nº 246 [INMETRO, 2000] seja diferente para alguns fabricantes que constituem o parque e que a implantação de um programa de manutenção preventiva, baseado nos resultados deste estudo, possa ser vantajosa financeiramente, além de permitir o controle sobre o desempenho do parque.

O tempo para substituição pode variar de acordo com o fabricante, tipo e modelo e depende da classe de vazão do hidrômetro. Sendo assim, grupos devem ser estratificados, com classes de vazão equitativas, e para cada grupo deve haver um tempo determinado para a substituição.

Neste estudo serão analisados hidrômetros residenciais classe de vazão A e Y, que representam 95 % do parque (veja tabelas 4 a 9). Para os hidrômetros das outras diversas classes de vazão os desempenhos devem ser estimados em trabalhos futuros, entretanto espera-se que a metodologia utilizada neste estudo seja aplicável para os futuros.

Em paralelo às hipóteses e expectativas principais, também espera-se confirmar o seguinte:

- Que o consumo médio medido em usuários onde houve a substituição de hidrômetros no período de janeiro a maio de 2003, tenha um acréscimo e conseqüentemente, que o volume total de água micromedido e faturado nestes usuários seja maior;
- Que o uso de hidrômetros instalados de maneira incorreta, com o eixo da turbina inclinado em relação à vertical, ou seja, não instalados na horizontal com o dispositivo registrador virado para cima, leve a erros sistemáticos maiores que o especificado na portaria nº 246 [INMETRO, 2000] e ainda que estes erros sejam negativos, a favor dos clientes;

- Que os hidrômetros, instalados em cavaletes e antecidos por registros de esfera ou globo, apresentem erros sistemáticos, por um certo período, também além do tolerado na portaria. A mudança brusca de vazão no momento da abertura do registro, levaria a erros sistemáticos ocasionados pelo que se chama de escorregamento, suposto nos medidores de transmissão mecânica e perda de sincronismo ou escorregamento magnético nos medidores de transmissão magnética. Pode ser confirmado que o custo relativo a estes erros justifique o uso apenas de registros do tipo gaveta, antecendo os hidrômetros nos cavaletes.

4.3 Planejamento e Amostra

Numa segunda etapa são definidos a população de estudo, os objetivos e as variáveis observadas, permitindo uma representação concreta e observável do objeto de pesquisa.

A população de estudo em questão são 62.721 (sessenta e dois mil, setecentos e vinte e uma) ligações de água providas de hidrômetros classe de vazão A e Y (em 2002). Desta população nas (6) seis regiões de abastecimento de água de Blumenau, deveriam ser selecionadas aleatoriamente ligações para a coleta de uma amostra de hidrômetros. No período de janeiro a maio de 2003 foram substituídos aproximadamente 1658 medidores, sendo assim, estes foram considerados como a amostra aleatória citada acima. A amostra foi substituída por hidrômetros classe de vazão Y.

O levantamento tem como objetivo principal estimar o desempenho metrológico desta amostra de hidrômetros. Com base nesta informação, os resultados podem ser extrapolados para toda a parcela de hidrômetros residenciais do parque e fundamentar a implantação de um plano de manutenção preventiva na mesma.

Os objetivos secundários são a confirmação de que hidrômetros instalados inclinadamente ou antecidos por registros de esfera apresentam submedição além do tolerado na portaria nº 246 do INMETRO.

Os objetivos explicitam as evidências que se deseja estabelecer e o uso sobre a realidade estudada através das características observadas. As características, variáveis quantitativas definidas para análise são as tendências nas três vazões

preceituadas para verificações periódicas na portaria nº 246, entre $0,45 Q_{\max}$ e $0,5 Q_{\max}$, entre Q_t e $1,1 Q_t$ e entre Q_{\min} e $1,1 Q_{\min}$, o volume recuperado após a substituição e a tendência de medidores de água instalados incorretamente e sob efeito de escorregamento.

O planejamento e a amostra compõem-se de atividades que consideram o plano de amostragem como elemento de ligação com as atividades operacionais [SILVA, 1996].

Para controle do setor comercial do SAMAE de Blumenau é utilizado o software Microsoft Excel, no qual foi desenvolvido um programa para o cadastro geral de consumidores. Este cadastro fornece as identificações completas de cada usuário, do hidrômetro instalado, da região e do setor de abastecimento a qual pertence, dos últimos consumos mensais, além de outras informações.

O levantamento deve utilizar este cadastro comercial para a organização na população de estudo, dos 1658 hidrômetros substituídos. Assim é possível a análise do volume faturado antes e depois da substituição, avaliando os consumos em períodos de 1 (um) ano anterior e 1 (um) ano posterior à substituição destes hidrômetros. O resultado deve proporcionar uma estimativa e a confirmação do incremento no consumo médio mensal e conseqüentemente o volume recuperado, ou seja, em quanto o índice de submedição dos hidrômetros foi diminuído após a substituição.

Para a determinação do desempenho metrológico, ou seja, da tendência dos medidores de água, no plano de amostragem são definidos a estrutura lógica do estudo, o caminho percorrido para se alcançar os objetivos propostos, consistindo na decisão de como os resultados serão organizados, as variáveis e a maneira como estas devem ser calculadas, além das estratégias para verificação das hipóteses ou resultados esperados.

O plano define este levantamento como analítico, em que a tendência apresentada por hidrômetros é considerada como variável prioritária a ser observada, sendo também nesta fase separados os grupos da população para comparação, no caso, os medidores de água estratificados segundo o ano de instalação.

A coleta de dados ocorre após a delimitação do assunto e é de suma

importância quando aplicada no estudo de uma população. Embora as diversas formas de coleta apresentem vantagens e desvantagens, o pesquisador deverá utilizar a que apresentar menor número de desvantagens [SILVA, 1996].

Em todos os estudos deverão ser consideradas as principais fontes de incerteza. É indicado o GUM [BIPM, 1998] como principal método para avaliar as incertezas de medição, e deve ser assegurado também que todos os resultados sejam rastreados ao SI [INMETRO, 2000b].

Os estratos de hidrômetros, agrupados segundo o ano de instalação, devem ser coletados de forma aleatória da amostra de hidrômetros substituídos entre janeiro e maio de 2003 e nestes estimado, através de ensaios em bancada própria para a verificação metrológica de hidrômetros, a tendência do erro sistemático para as vazões mínima, de transição e nominal. Nestes estratos também deve ser estimado o erro sistemático (a tendência) para os hidrômetros sob efeito de escorregamento. Ressalte-se que dentre os hidrômetros do parque de Blumenau analisados, somente os de classe de vazão Y possuem transmissão magnética.

Para a tendência em hidrômetros inclinados, os ensaios devem ser realizados em hidrômetros novos, aprovados nos ensaios de verificação inicial, pois se ao serem instalados inclinadamente já apresentarem uma tendência maior que o previsto na portaria, ao passar dos anos a mesma tenderá a aumentar.

Os tamanhos das amostras estratificadas, ou seja, o número de elementos dos estratos, devem ser obtidos levando-se em conta que a bancada utilizada para os ensaios apresenta uma incerteza de medição de 0,2 %; assumi-se conservadoramente o máximo erro da estimativa (E) de 1 %. Considerando os limites de erros toleráveis, estabelecidos pela portaria n° 246 do INMETRO [INMETRO, 2000], pode-se assumir como desvio padrão aceitável da média (σ) 2 % ou menos. Assim, usando-se a fórmula da estimativa de tamanho de amostras para distribuições normais, explicitada na equação 2, será definido o tamanho (n) aceitável para os estratos da amostra.

$$n = \left[z_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma}{E} \right]^2 \quad \text{Equação 2}$$

onde:

n = tamanho da amostra;

• = desvio padrão aceitável da média;

z = variável aleatória padronizada (tabelado); e

E = máximo erro da estimativa.

Admite-se a variável aleatória padronizada (Z) de 1,96, esta é relativa a um intervalo de confiança 95 % de confiabilidade.

Assim,

$$n = \left[1,96 \cdot \frac{2}{1} \right]^2 = 15,36 \text{ _elementos}$$

Deverá portanto ser considerado o tamanho de cada estrato de no mínimo 16 hidrômetros ensaiados.

Para a análise e validação dos dados amostrais, de forma que dados discrepantes não sejam considerados nas análises dos resultados de cada ensaio, os dados devem ser avaliados conforme o critério de Chauvenet [NIELSEN, 2001]. Este critério de exclusão de dados discrepantes é apresentado no apêndice A.

Para confirmação das amostras quanto a sua distribuição se comportar como uma distribuição normal e assim poderem ser utilizados os conceitos estatísticos referentes a esta distribuição e também o critério de Chauvenet, deve ser realizado um teste de normalidade. Através deste é verificado se o comportamento dos dados amostrais é semelhante ao de uma distribuição normal.

4.4 Operações

As operações de coleta, conferência e processamento de dados compreendem a última fase do levantamento. Nesta fase são conferidos e analisados os resultados, de forma que à luz das hipóteses, expectativas e objetivos traçados, estes sejam

efetivamente cumpridos e sejam obtidas as respostas para as questões de estudo [SILVA, 1996].

Para a obtenção das primeiras respostas pretendidas, no mês de julho de 2004 foi solicitado à divisão comercial do SAMAE de Blumenau o cadastro de consumidores com dados de consumos mensais dos últimos 30 (trinta) meses, o que permitiria a análise dos hidrômetros substituídos em períodos de 01 (um) ano anterior e 01 (um) ano posterior à troca.

Através da coluna no Excel, intitulada “data da troca” foi filtrada do cadastro uma amostra da população de estudo, formando 5 (cinco) planilhas constituídas por dados de consumidores que tiveram seus hidrômetros trocados em janeiro, fevereiro, março, abril e maio de 2003.

Em algumas linhas de usuários ocorreu que os consumos anteriores aos meses de substituição, estavam “zerados”, portanto estes usuários tiveram ligações novas no mesmo período das substituições, sendo conseqüentemente excluídos da análise. Como resultado chegou-se a uma amostra de 1658 hidrômetros substituídos no período.

Nas planilhas, como apresentado na figura 10, foram marcadas com a cor amarela e excluídas da análise as colunas correspondentes aos meses de troca, salientando assim dois grupos de dados em cada planilha, um grupo de consumos mensais anteriores à substituição e outro de posteriores à substituição (doravante chamadas simplesmente de “lados” das planilhas). Na direita de cada linha das planilhas foram calculados as médias de consumo e o volume total consumido em cada usuário, antes e depois da troca.

Foram marcadas com a cor salmão e também excluídas da análise, as colunas correspondentes ao primeiro mês posterior à substituição, pois considerou-se que ainda havia uma adaptação do medidor.

Para garantir a consistência dos resultados, não considerando na análise células que continham dados espúrios, foram estabelecidos os seguintes critérios:

- É considerado espúrio o dado de consumo igual a 0 (zero), ou seja, supõe-se que neste mês os moradores do ponto de consumo se ausentaram ou que houve um problema de medição ou leitura no medidor;
- É considerado espúrio o dado menor que a metade da média dos consumos mensais e também maior que o dobro da média. Em cada linha de usuário deve ser analisado cada consumo mensal e comparado com a correspondente média, calculada a direita das linhas. Supõe-se, que se em um mês o consumo foi menor que a metade da média, os moradores deste ponto se ausentaram durante uma parte do período e se foi maior que o dobro da média pode ter ocorrido um vazamento nas instalações internas, ou ainda, nos dois casos, pode ter havido um problema de medição ou leitura no hidrômetro que descaracterizaria a média de consumo.
- Número mínimo de dados de consumo em cada lado = 9 meses (caso existam menos que nove meses aceitos em qualquer dos lados, a linha do usuário é totalmente excluída da análise);
- Número máximo de dados de consumo de cada lado = 12 meses;
- Para que seja mantida uma sazonalidade dos dados, ou seja, mesmo número de dados analisados antes e depois da troca e que estes sejam referentes aos mesmos períodos do ano nos dois lados, caso seja excluído um dado da análise em um dos lados também será no outro lado no respectivo de mês;

Após excluídas da análise as células que continham dados espúrios e as linhas com menos de 9 (nove) meses de dados de consumo válidos em qualquer dos lados, obteve-se uma amostra de 878 (oitocentos e setenta e oito) pontos de consumo dos 1658 (um mil seiscentos e cinquenta e oito) hidrômetros substituídos no período de janeiro a maio de 2003.

Nestas planilhas filtradas foi verificado se houve um incremento no volume consumido e efetivamente medido, através do cálculo da diferença entre os somatórios dos volumes totais consumidos antes e depois da troca e estimado o valor

médio deste incremento nos meses analisados. Os resultados serão apresentados no próximo capítulo.

Dos 1658 hidrômetros substituídos, foram colhidas amostras aleatórias, estratificadas segundo o ano de fabricação, para nestas serem realizados ensaios nas vazões de especificação. Esperava-se com isto, estimar a tendência apresentada ao passar dos anos e o respectivo intervalo para 95 % de confiabilidade. Baseando-se nestes dados, deve ser estimado o desempenho da parcela de hidrômetros residenciais do parque. Nesta etapa também foi verificada, através de ensaio específico, a influência do escorregamento no erro sistemático apresentado por hidrômetros.

Para tanto, deveriam ser formados 14 (quatorze) estratos referentes aos hidrômetros que haviam sido fabricados e instalados no período de 1989 até 2002 e enviados a um laboratório de calibração de hidrômetros credenciado pelo DIMEL – INMETRO.

O tamanho mínimo dos estratos deve ser de 16 elementos, conforme aplicação da equação 2. Por questões financeiras e administrativas, alguns estratos tiveram que ser completados com resultados de verificações eventuais, realizadas no período e para os anos de 1992, 1993 e 1994 não foi possível coletar estratos representativos. Vale ressaltar que a troca de hidrômetros nestes anos foi muito pequena, resumindo-se apenas à substituição de hidrômetros danificados, portanto esta parcela não é significativa.

Os hidrômetros dos anos de 1992, 1993 e 1994 representam respectivamente 0,59 % (369 hidrômetros), 0,12 % (78 hidrômetros) e 0,27 % (168 hidrômetros) dos 62.721 hidrômetros da população de estudo, sendo que as amostras foram de nenhum elemento para 1992 e 1993 e de 5 (cinco) elementos para 1994. Espera-se que, devido a pouca significância destes hidrômetros no parque, a ausência destes dados não inviabilize o estudo.

Foi possível, portanto, a formação da amostra com estratos de hidrômetros com 1 (um) até 14 (quatorze) anos de uso, excetuando hidrômetros com 9, 10 e 11 anos.

No laboratório, através de uma bancada com verificação metrológica anual por técnicos do INMETRO – SC, foram realizados os ensaios para determinação da

tendência nas seguintes vazões:

- entre $0,45.Q_{m\acute{a}x}$ e $0,5.Q_{m\acute{a}x}$;
- entre Q_t e $1,1.Q_t$;
- entre $Q_{m\acute{m}n}$ e $1,1.Q_{m\acute{m}n}$; e
- em aproximadamente $0,7.Q_{m\acute{a}x}$, alcançada rapidamente através da abertura brusca do registro, que antecede os hidrômetros ensaiados (nos outros ensaios este registro encontra-se aberto e a vazão é regulada em rotâmetros).

Dos hidrômetros novos, unijato, classe de vazão Y e classe metrológica B, usados na substituição, foi escolhida aleatoriamente uma amostra de $n = 10$, para verificar a influência da instalação incorreta nos erros de medição. Foram realizados os mesmos ensaios descritos anteriormente, mas instalando os hidrômetros além da posição correta (eixo da turbina na vertical) também em posições inclinadas, quer seja, a $22,5^\circ$, a 45° e a 90° em relação a vertical.

Em todos os conjuntos de dados resultantes em cada estrato foi aplicado o método de exclusão de dados discrepantes de Chauvenet e realizado o teste de normalidade da distribuição dos dados amostrais. Este teste é apresentado no apêndice B.

Nas figuras 11, 12 e 13, a seguir, é apresentado um fluxograma (resumo) de atividades da metodologia proposta para o levantamento do desempenho da parcela de hidrômetros residenciais do parque de Blumenau.

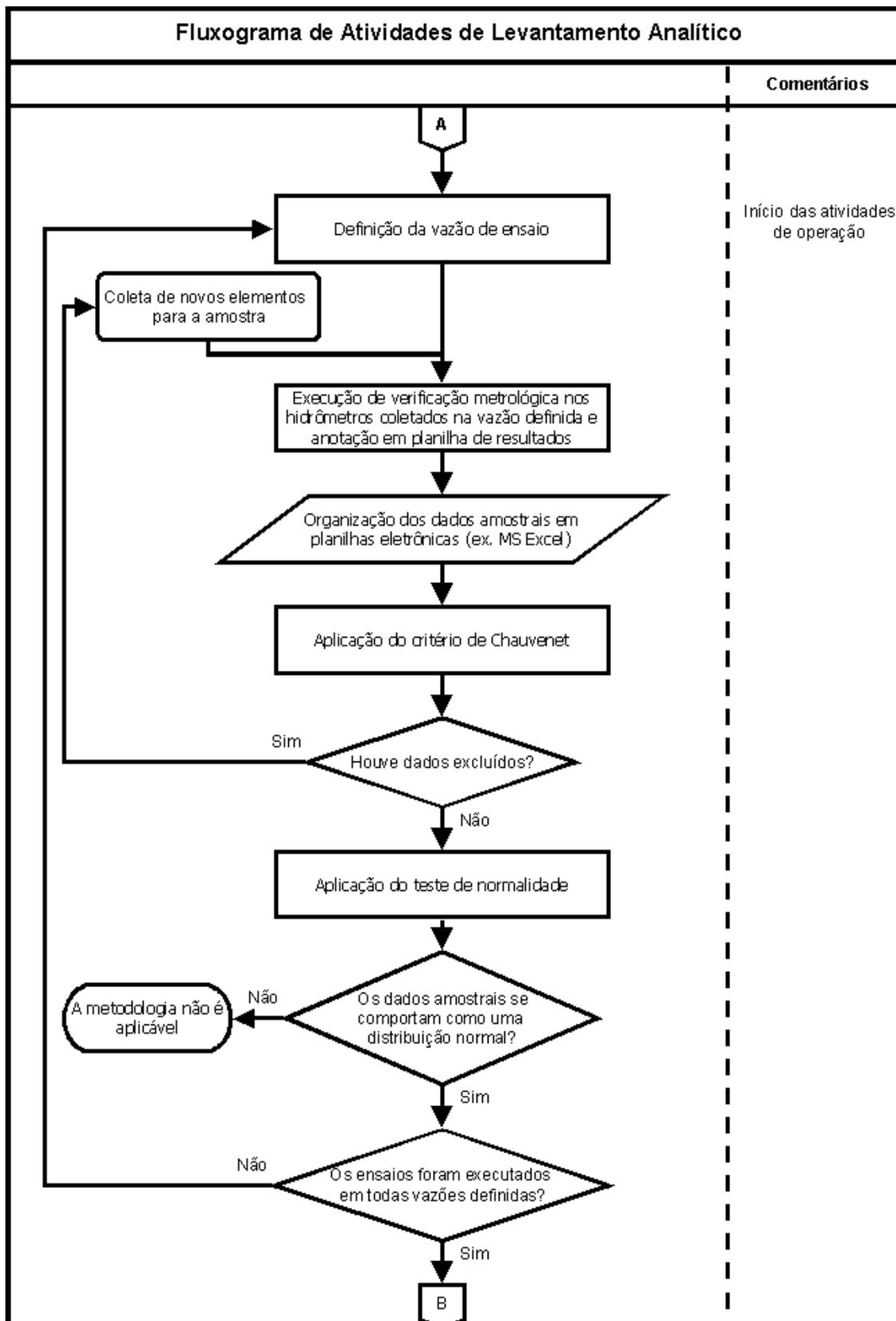


Figura 12 – Fluxograma de Atividades da Metodologia Proposta (parte 2)

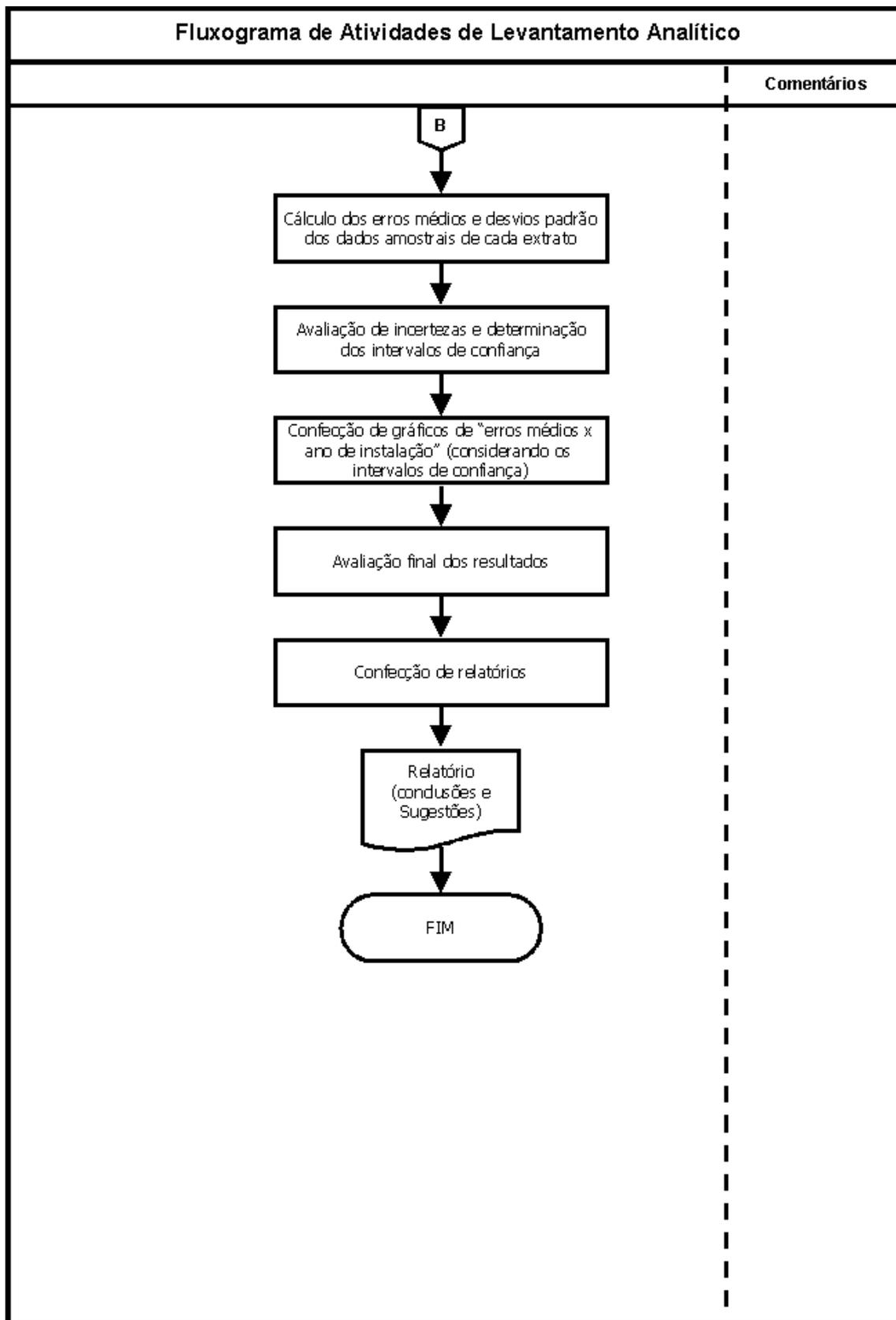


Figura 13 – Fluxograma de Atividades da Metodologia Proposta (parte 3)

Capítulo 5

Resultados Alcançados no Estudo

Após a realização dos ensaios planejados e da análise dos dados da amostragem estratificada de hidrômetros, foi possível fazer as seguintes inferências.

5.1 Incremento no Volume Micromedido Após Substituição

Esperava-se que a utilização de hidrômetros classe de vazão Y e Classe metrológica B, fosse vantajosa, já que o mesmo pode ser comparado a um hidrômetro classe de vazão A e classe metrológica C, inexistentes no parque de Blumenau. A diferença entre eles é que a faixa de vazões de trabalho é menor nos hidrômetros classe Y. O limite superior do conjunto de valores de vazão para os quais a portaria nº 246 [INMETRO, 2000] admite, que o erro mantenha-se dentro do especificado é menor, no entanto os limites inferiores são iguais e neste valor julga-se haver a maior predominância no perfil de consumo.

Como esperado, a substituição executada nos meses de janeiro a maio de 2003, obteve um resultado positivo. O acréscimo no volume registrado nos hidrômetros, apresentado nos resumos das tabelas 10, 11, 12, 13 e 14, equivale a 25841 m³ e conseqüentemente gerou um aumento na receita anual de R\$ 58.400,00. Foi considerado para a estimativa do incremento na receita (nos 878 usuários), a taxa de R\$ 2,26/m³, mesmo para o ano anterior as substituições no qual houve

reajustes. Os consumos médios estimados, antes e depois da troca, são respectivamente, 16,85 m³ e 19,44 m³, portanto acima do volume de 10 m³ (taxa mínima). Como pode ser verificado na tabela 15, houve um incremento de 15,32 % no volume micromedido (média dos 5 meses analisados).

Considerando que o custo unitário de aquisição dos hidrômetros classe de vazão Y, foi de R\$ 35,00, que o custo médio de substituição, levando em conta mão-de-obra e transporte, foi de R\$ 12,00, que os hidrômetros retirados (usados) foram vendidos para reciclagem a um preço médio de R\$ 6,00 e que houve o aumento da receita citado anteriormente, pode-se concluir, segundo cálculo simplificado abaixo, que esta substituição apresentou uma taxa de retorno de 7,4 meses e que consequentemente o investimento foi vantajoso financeiramente para o SAMAE.

- Custo total de aquisição e substituição (878 hidrômetros) – preço de venda dos hidrômetros usados (878 x R\$ 41,00) = R\$ 35.998,00;
- Incremento mensal (R\$ 58.400/12 meses) = R\$ 4.866,00/mês;
- Taxa de retorno (R\$ 35.988,00/R\$ 4.866,00/mês) = 7,4 meses.

Ressalte-se, que no cálculo não foi considerado o incremento nas taxas de lixo e de esgoto. A taxa de lixo depende de uma média de consumo de água dos últimos 6 meses e além de índices variáveis, de outras informações, tais como, a frequência de passagem do caminhão de coleta no ponto de consumo, a categoria do imóvel e o custo do tratamento da tonelada de lixo. A taxa de esgoto equívale a 80 % da taxa de consumo de água, no entanto, não é cobrada de todos consumidores cadastrados, já que apenas 2 % da população blumenauense possui coleta e tratamento do mesmo.

Troca em Janeiro de 2003	
Total de Hidrômetros	382
Volume Total Anterior a Troca	66313 m³
Volume Total Posterior a Troca	76390 m³
Percentual de Incremento	15,20 %

Tabela 10 – Resumo dos resultados da substituição em janeiro de 2003

Troca em Fevereiro de 2003	
Total de Hidrômetros	120
Volume Total Anterior a Troca	22201 m³
Volume Total Posterior a Troca	25029 m³
Percentual de Incremento	12,74 %

Tabela 11 – Resumo dos resultados da substituição em fevereiro de 2003

Troca em Março de 2003	
Total de Hidrômetros	146
Volume Total Anterior a Troca	31976 m³
Volume Total Posterior a Troca	38853 m³
Percentual de Incremento	21,51 %

Tabela 12 – Resumo dos resultados da substituição em março de 2003

Troca em Abril de 2003	
Total de Hidrômetros	184
Volume Total Anterior a Troca	37622 m³
Volume Total Posterior a Troca	42310 m³
Percentual de Incremento	12,46 %

Tabela 13 – Resumo dos resultados da substituição em abril de 2003

Troca em Maio de 2003	
Total de Hidrômetros	46
Volume Total Anterior a Troca	10591 m³
Volume Total Posterior a Troca	11962 m³
Percentual de Incremento	12,94 %

Tabela 14 – Resumo dos resultados da substituição em maio de 2003

Troca Total	
Total de Hidrômetros	878
Volume Total Anterior a Troca	168703 m³
Volume Total Posterior a Troca	194544 m³
Percentual de Incremento	15,32 %

Tabela 15 – Resumo dos resultados da substituição total no período de janeiro a maio de 2003

Para a verificação do incremento da receita, foi utilizado o volume total consumido anualmente antes e depois da substituição, já para verificar o incremento no volume médio mensal foram usadas as médias dos volumes mensais.

O incremento no volume médio mensal foi positivo, no entanto a variância dos dados de consumo médio mensal foi elevada a ponto de que os intervalos de confiança do volume médio se sobrepuseram (figura 14). Portanto neste estudo, não foi possível estimar o incremento médio mensal de maneira conclusiva.

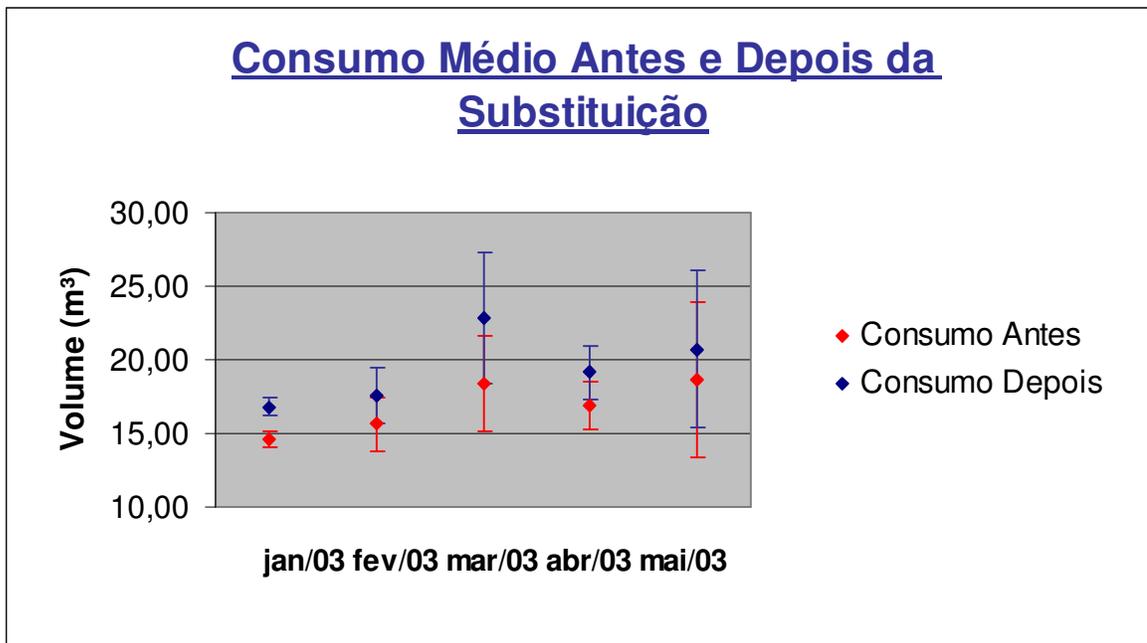


Figura 14 – Consumo médio antes e depois da substituição

Para obter-se a informação, a variância dos dados deve ser bastante diminuída, sendo para isto necessário inicialmente, que a amostra de usuários da população de estudo tenham perfis de consumo e volumes médios consumidos mensalmente, muito semelhantes. Ao contrário dos usuários analisados neste trabalho, com faixa de consumo mensal entre (1 e 217) m³, para chegar-se em uma inferência confiável, a amplitude da faixa deveria ser pequena, por exemplo de 40 m³.

5.2 Influência da Instalação Incorreta no Erro de Medição de Hidrômetros

Buscou-se estimar a tendência em hidrômetros instalados incorretamente, ou seja, a média dos erros médios apresentados por medições repetidas de hidrômetros com o eixo da turbina fora da posição vertical. Para a estimativa foram realizados ensaios em uma amostra de 10 hidrômetros novos em diferentes inclinações.

Na figura 15 é apresentado um gráfico que mostra os percentuais de aprovação para as quatro inclinações ensaiadas.

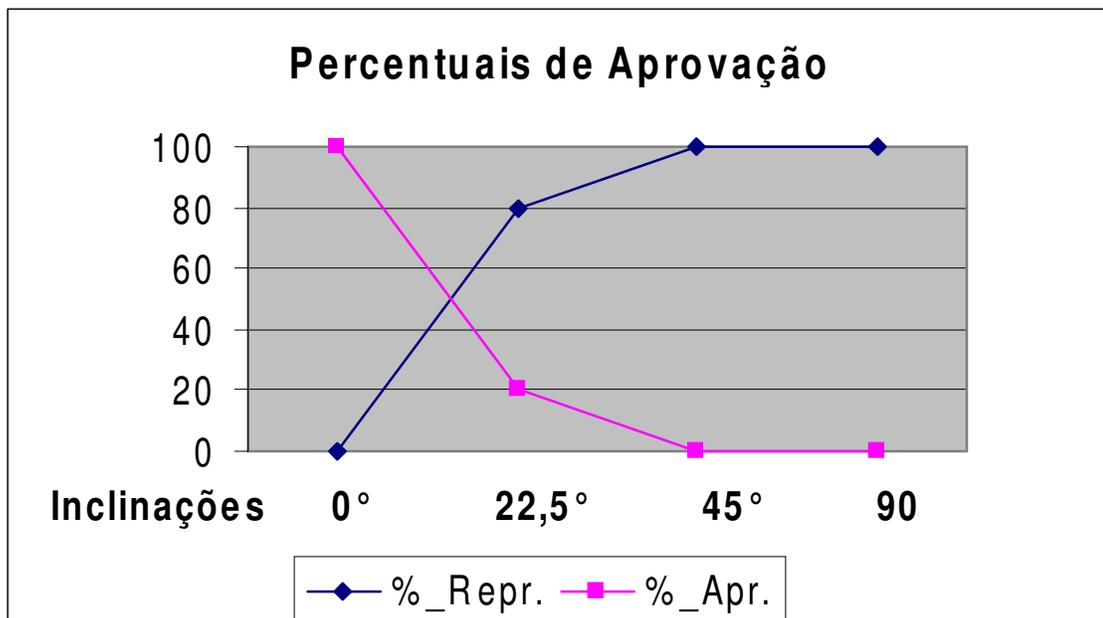


Figura 15 – Percentuais de aprovação de hidrômetros instalados a 22,5°, 45° e 90°

Nas tabelas 16, 17, 18 e 19 são apresentados os resultados dos ensaios nas vazões mínima, de transição e nominal, e em 70 % da vazão máxima alcançada bruscamente, simulando a causa do escorregamento. Os ensaios foram realizados nos hidrômetros instalados corretamente (na vertical), para verificar se já na posição correta não haveria erros além do estabelecido na portaria n° 246 do INMETRO, garantindo assim que quando instalados com inclinações de 22,5°, 45° e 90°, a influência nos erros fosse apenas da posição incorreta de instalação.

Para determinação do intervalo de confiança dos erros médios nas quatro vazões de ensaio, foram consideradas como fontes de incerteza, a repetitividade, a incerteza do padrão de referência (u_p), a resolução do padrão de referência (u_{Rp1} e u_{Rp2}) e a resolução dos hidrômetros ensaiados (u_{Rh}). Apesar da amostra disponível não conter muitos elementos ($n = 10$), esperava-se que devido aos hidrômetros serem novos não ocorreria uma dispersão muito elevada nos resultados e estes seriam válidos, o que foi confirmado pela pequena amplitude dos intervalos de confiança.

HIDRÔMETRO NA POSIÇÃO VERTICAL							
	Hidrômetro	CM	Escorreg.	Qn	Qt	Qmín	Avaliação
			Erro %	Erro %	Erro %	Erro %	
01	Y03L 158828	B	0,90	1,15	-1,00	-3,50	APROVADO
02	Y03L 158735	B	0,25	0,35	-0,50	0,00	APROVADO
03	Y03L 158320	B	0,40	0,15	-1,00	0,50	APROVADO
04	Y03L 157878	B	2,25	2,00	2,00	3,50	APROVADO
05	Y03L 158458	B	0,50	0,45	-0,50	1,00	APROVADO
06	Y03L 158379	B	2,25	2,00	0,00	-4,00	APROVADO
07	Y03L 158226	B	0,00	-0,45	-2,00	-5,00	APROVADO
08	Y03L 158282	B	-1,25	-1,90	-2,00	2,00	APROVADO
09	Y03L 158191	B	2,35	1,85	-1,00	-5,00	APROVADO
10	Y03L 158919	B	3,00	2,00	0,50	1,00	APROVADO
Média			1,0650	1,0556	-0,8333	-0,9500	
Desvio Padrão			1,2708	0,8986	0,7817	2,9618	
Repetitividade			0,7877	0,5570	0,4845	1,8358	* uRp = uRp1
U₉₅² = uRe²+uRh²+uRp²+up²			0,4312*	0,3292*	0,2996*	0,9346 *	* uRp = uRp2
LIC = Média - U₉₅			0,6338	0,7263	-1,1329	-1,8846	
LSC = Média + U₉₅			1,4962	1,3848	-0,5338	-0,0154	
u _{Rh} =Rh/2/raiz(3)=	0,00289	u _{Rp1} =Rp/2/raiz(3)=	0,28868	u _{Rp2} =Rp/2/raiz(3)=	0,02887	up=(certif. DIMEL)=	0,2
CRITÉRIO ADOTADO PARA AVALIAÇÃO: VERIFICAÇÃO INICIAL.							

Tabela 16 – Resultados para os ensaios em hidrômetros instalados corretamente

Para garantir, que dados espúrios não fossem validados e incluídos na análise, foi utilizado o critério de exclusão de dados discrepantes de Chauvenet (Apêndice B). O número de Chauvenet para uma amostra de dez elementos é 1,96. Nas tabelas dos resultados dos ensaios, os valores de erro médio das células com fundo amarelo foram excluídos da análise, pois a relação entre o desvio do erro médio do hidrômetro em relação à média dos erros de todos os elementos da amostra, e o desvio padrão da amostra, excedeu o número de Chauvenet.. Depois de excluídos os dados discrepantes, a análise estatística foi refeita.

Como pode ser verificado, o resultado dos ensaios na amostra com os hidrômetros instalados corretamente, foi positivo. Todos os medidores ensaiados apresentaram erros dentro do especificado para verificação inicial, na portaria nº

246 do INMETRO [INMETRO, 2000] (veja capítulo 3, figura 5) e portanto estão aptos para verificação da influência da instalação incorreta (inclinadamente) no erro sistemático apresentado por hidrômetros na medição de volumes consumidos.

Hidrômetros instalados com inclinação de 22,5° em relação a vertical, como pode ser visto na tabela 17, já apresentam erros maiores, principalmente em vazões próximas a vazão mínima, no entanto a média não está acima do previsto na portaria nº 246 do INMETRO. Individualmente, 90 % dos hidrômetros seriam reprovados.

HIDRÔMETRO INCLINADO À 22,5°							
	HIDRÔMETRO	CM	Escorreg.	Qn	Qt	Qmin	Avaliação
			Erro %	Erro %	Erro %	Erro %	
01	Y03L 158828	B	1,50	1,10	-1,00	-8,50	REPROVADO
02	Y03L 158735	B	0,40	0,30	0,00	-5,50	REPROVADO
03	Y03L 158320	B	0,40	0,15	-1,50	-14,00	REPROVADO
04	Y03L 157878	B	2,20	2,15	1,50	-0,50	REPROVADO
05	Y03L 158458	B	0,90	0,60	-0,50	-3,50	APROVADO
06	Y03L 158379	B	1,40	1,90	0,00	-9,50	REPROVADO
07	Y03L 158226	B	0,20	-0,30	-2,50	1,00	REPROVADO
08	Y03L 158282	B	-1,55	-1,85	-2,50	-1,00	REPROVADO
09	Y03L 158191	B	2,40	1,75	-0,50	-3,50	REPROVADO
10	Y03L 158919	B	3,50	2,25	0,00	-100,00	REPROVADO
Média			1,4333	1,1000	-0,7000	-5,0000	
Desvio Padrão			1,0403	0,8969	1,1662	4,6007	
Repetitividade			0,6448	0,5559	0,7228	2,8516	* uRp = uRp1
$U_{95}^2 = uRe^2 + uRh^2 + uRp^2 + up^2$			0,3671*	0,3288*	0,4021*	1,4366 *	* uRp = uRp2
LIC = Média - U₉₅			1,0662	0,7712	-1,1021	-6,4366	
LSC = Média + U₉₅			1,8004	1,4288	-0,2979	-3,5634	
$uR_n = Rh/2/raiz(3) =$	0,00289	$uRp1 = Rp/2/raiz(3) =$	0,28868	$uRp2 = Rp/2/raiz(3) =$	0,02887	$up_{certif. DIMEL} =$	0,2
CRITÉRIO ADOTADO PARA AVALIAÇÃO: VERIFICAÇÃO INICIAL.							

Tabela 17 – Resultados para os ensaios em hidrômetros instalados com 22,5° de inclinação

Na tabela 18, a seguir, pode-se verificar, que todos os hidrômetros foram

reprovados ao serem instalados a 45° de inclinação em relação a vertical. A média dos erros apresentados nos ensaios de vazão mínima evidencia ainda mais o problema da tendência negativa em pequenas vazões.

HIDRÔMETRO INCLINADO À 45°							
	HIDRÔMETRO	CM	Esc. Mag.	Qn	Qt	Qmin	Avaliação
			Erro %	Erro %	Erro %	Erro %	
01	Y03L 158828	B	1,10	1,10	-1,00	-8,50	REPROVADO
02	Y03L 158735	B	0,55	0,45	-1,00	-7,00	REPROVADO
03	Y03L 158320	B	0,25	0,00	-2,00	-16,00	REPROVADO
04	Y03L 157878	B	2,25	2,15	1,50	-3,50	REPROVADO
05	Y03L 158458	B	1,10	0,95	-0,50	-9,00	REPROVADO
06	Y03L 158379	B	2,20	1,85	-0,50	-9,50	REPROVADO
07	Y03L 158226	B	-1,20	-0,60	-2,50	-10,00	REPROVADO
08	Y03L 158282	B	-1,55	-1,75	-3,00	-2,50	REPROVADO
09	Y03L 158191	B	2,30	1,70	-0,50	-5,50	REPROVADO
10	Y03L 158919	B	3,35	2,15	0,00	-100,00	REPROVADO
Média			1,0350	1,0833	-0,9500	-7,9444	
Desvio Padrão			1,4943	0,9232	1,2339	3,7892	
Repetitividade			0,9262	0,5722	0,7648	2,3486	* uRp = uRp1
$U_{95}^2 = uRe^2 + uRh^2 + uRp^2 + up^2$			0,4953*	0,3357*	0,4210*	1,1874 *	* uRp = uRp2
LIC = Média - U₉₅			0,5397	0,7477	-1,3710	-9,1319	
LSC = Média + U₉₅			1,5303	1,4190	-0,5290	-6,7570	
uRh=Rh/2/raiz(3)=	0,00289	uRp1=Rp/2/raiz(3)=	0,28868	uRp2=Rp/2/raiz(3)=	0,02887	up_(certif. DIMEL)=	0,2
CRITÉRIO ADOTADO PARA AVALIAÇÃO: VERIFICAÇÃO INICIAL							

Tabela 18 – Resultados para os ensaios em hidrômetros instalados com 45° de inclinação

Na instalação dos hidrômetros com inclinação de 90° pode-se concluir que a tendência ficou ainda pior na vazão mínima. Com uma probabilidade de 100 %, conforme os limites de confiabilidade apresentados, os hidrômetros instalados com uma inclinação de 90° seriam reprovados, portanto realmente a instalação incorreta leva a erros sistemáticos acentuados.

HIDRÔMETRO INCLINADO À 90°							
	HIDRÔMETRO	CM	Esc. Mag.	Qn	Qt	Qmin	Avaliação
			ERRO %	ERRO %	ERRO %	ERRO %	
01	Y03L 158828	B	1,70	1,45	0,00	-25,50	REPROVADO
02	Y03L 158735	B	0,40	0,15	0,00	-15,50	REPROVADO
03	Y03L 158320	B	0,60	0,25	-1,50	-18,50	REPROVADO
04	Y03L 157878	B	2,25	2,30	1,50	-7,00	REPROVADO
05	Y03L 158458	B	1,15	0,85	0,00	-6,00	REPROVADO
06	Y03L 158379	B	2,30	1,75	0,00	-14,00	REPROVADO
07	Y03L 158226	B	0,10	-0,65	-2,50	-16,00	REPROVADO
08	Y03L 158282	B	1,45	-1,75	-2,50	-7,50	REPROVADO
09	Y03L 158191	B	2,45	1,90	-0,50	-22,50	REPROVADO
10	Y03L 158919	B	3,20	2,30	1,00	-100,00	REPROVADO
Média			1,5600	1,1444	-0,4500	-14,7222	
Desvio Padrão			0,9541	0,9887	1,2738	6,5111	
Repetitividade			0,5914	0,6128	0,7895	4,0357	* uRp = uRp1
$U_{95}^2 = uRe^2 + uRh^2 + uRp^2 + up^2$			0,3439*	0,3531*	0,4323*	2,0255 *	* uRp = uRp2
LIC = Média - U₉₅			1,2161	0,7913	-0,8823	-16,7477	
LSC = Média + U₉₅			1,9039	1,4976	-0,0177	-12,6967	
$uR_h = Rh/2/raiz(3) =$	0,00289	$uR_p1 = Rp/2/raiz(3) =$	0,28868	$uR_p2 = Rp/2/raiz(3) =$	0,02887	$up_{(certif. DIMEL)} =$	0,2
CRITÉRIO ADOTADO PARA AVALIAÇÃO: VERIFICAÇÃO INICIAL							

Tabela 19 – Resultados para os ensaios em hidrômetros instalados com 45° de inclinação

Nas figuras 16, 17, 18 e 19, são apresentados os gráficos da tendência em relação as quatro inclinações, para cada um dos ensaios realizados.

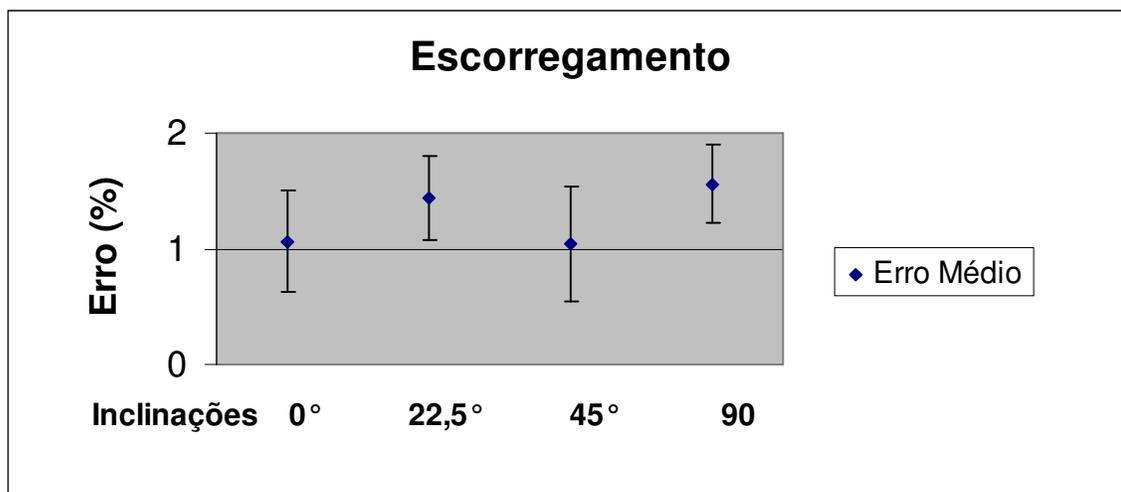


Figura 16 – Gráfico de erros em hidrômetros instalados inclinadamente (escorregamento)

Para os ensaios de escorregamento magnético ou perda de sincronismo, pode ser verificado que os valores de erro, mesmo considerando os intervalos de confiança de 95 %, não sofreram grandes variações, mantendo-se dentro dos limites de erro percentuais, para verificação inicial, preceituados pela portaria n° 246 [INMETRO, 2000].

Confirma-se o fato de que para grandes vazões, que é o caso do ensaio, a inclinação não afeta de maneira significativa a exatidão e o problema de escorregamento magnético não ocorre como esperado.

Supostamente a consequência seria uma tendência negativa, pois como o próprio nome utilizado sugere, o dispositivo de transmissão magnética escorregaria em relação à turbina. Os resultados evidenciam que a mudança brusca de vazão não interfere na exatidão do hidrômetro tornando a tendência negativa, no entanto comparando os gráficos dos ensaios de escorregamento e de vazão nominal, pode-se verificar que houve uma mudança no comportamento do erro. Verifica-se que na situação do ensaio de escorregamento houve um incremento inusitado nos valores médios de erro levando à hipótese de que a mudança brusca de vazão, ao contrário do que se esperava, torna a tendência positiva.

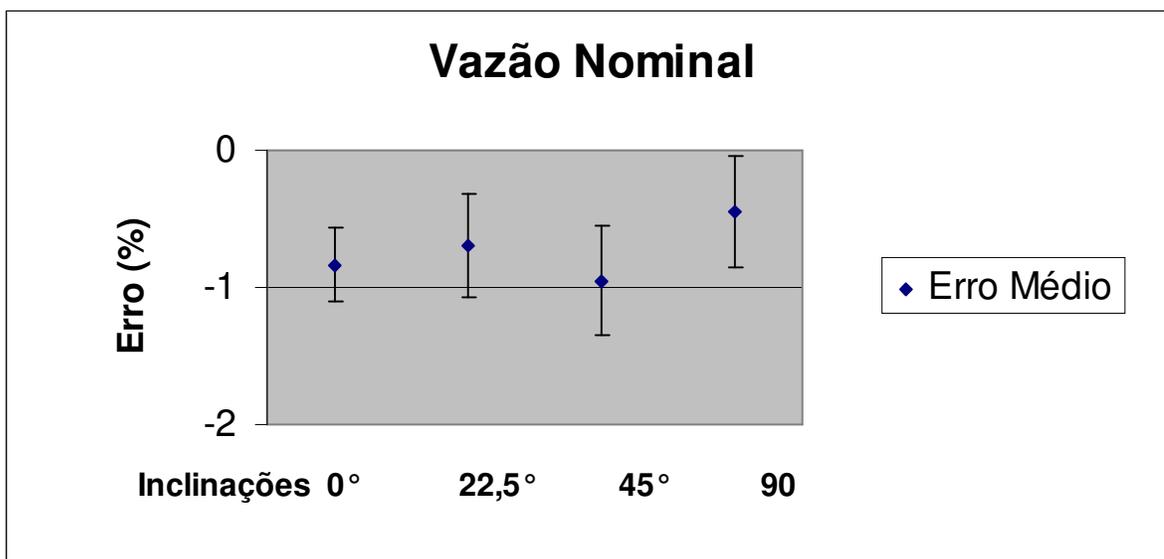


Figura 17 – Gráfico de erros em hidrômetros instalados inclinadamente (Q_n)

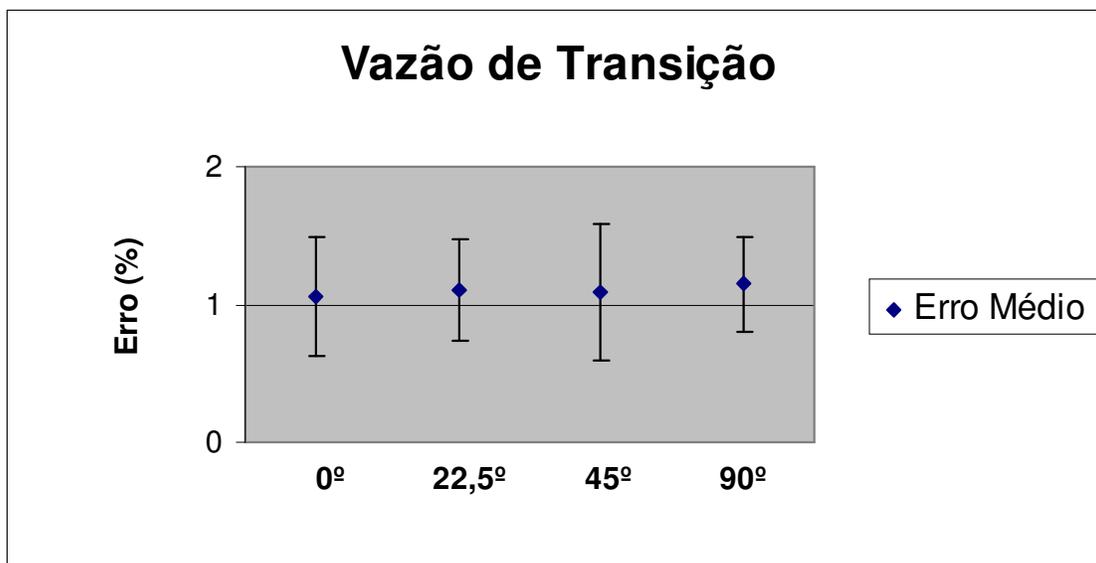


Figura 18 – Gráfico de erros em hidrômetros instalados inclinadamente (Q_t)

Como já exposto, segundo os ensaios realizados, na vazão nominal não ocorrem variações significativas no erro de medição dos hidrômetros, ou seja, as características metrológicas destes, quando atravessados por vazões próximas a nominal, não são alteradas devido à instalação dos hidrômetros inclinadamente.

Da mesma maneira que nas vazões próximas à nominal, na vazão de transição também não ficou evidenciada nenhuma influência da instalação incorreta no erro sistemático apresentado por hidrômetros, ao contrário, como pode ser verificado na figura acima, o valor do erro manteve-se praticamente inalterado para todas as inclinações de ensaio.

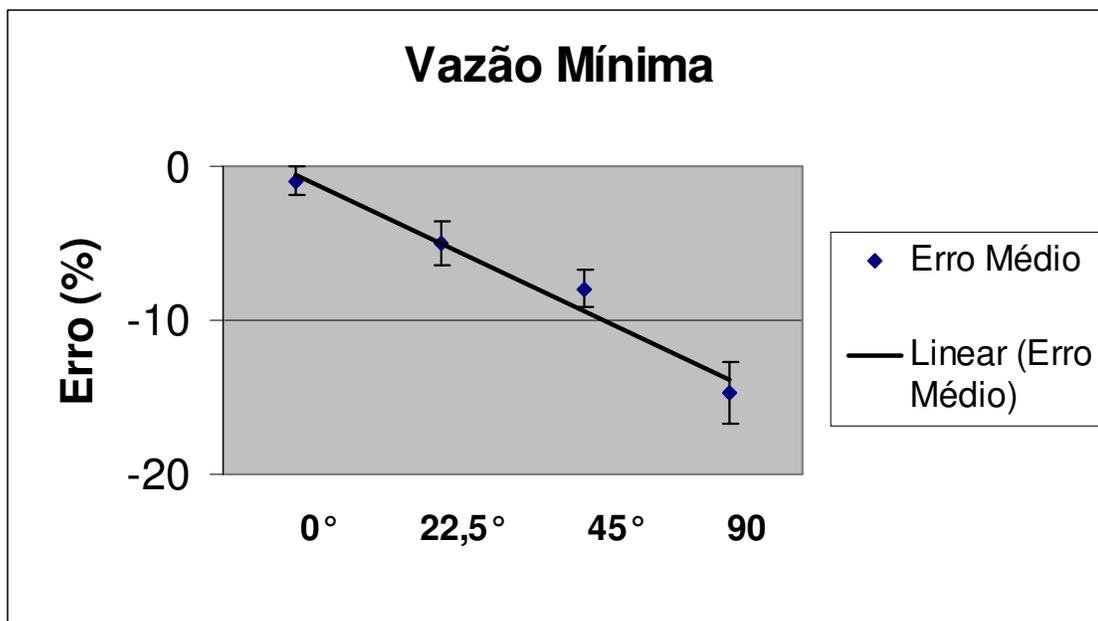


Figura 19 – Gráfico de erros em hidrômetros instalados inclinadamente ($Q_{mín}$)

Ao contrário dos resultados nas outras vazões, ficou nítido, conforme pode-se verificar na figura acima, que a linha de tendência do erro médio é descendente, aumentando em módulo, e praticamente linear à medida que a inclinação de instalação aumenta.

Fica evidenciado, que realmente a instalação incorreta, com o eixo da turbina fora da posição vertical, leva a uma degradação das características metrológicas nos hidrômetros. Como esperado, o problema ocorre nas vazões pertencentes ao campo inferior de medição, mais especificamente se os hidrômetros estiverem operando, na maior parte do tempo, sob vazões próximas a vazão mínima.

No caso de consumidores residenciais onde pequenas vazões são preponderantes no perfil de consumo, a instalação incorreta dos hidrômetros pode causar perdas de faturamento significativas, tanto maiores quanto maior for a

inclinação em relação a vertical. A situação, provavelmente, deve ser agravada com o passar dos anos, devido à degradação temporal.

5.3 Influência do Escorregamento no Erro de Medição de Hidrômetros

Quando hidrômetros são antecidos nos cavaletes por registros do tipo esfera ou globo, a abertura dos mesmos ocasiona uma mudança brusca de vazão, ou seja, uma vazão alta é atingida quase instantaneamente. Nos ensaios de escorregamento realizados em cada hidrômetro, 70 % da vazão máxima dos medidores era atingida bruscamente, ou seja, a situação de hidrômetros antecidos por registros de esfera ou globo era simulada.

Estes ensaios foram realizados em todos os hidrômetros estratificados segundo o ano de fabricação e também na amostra de hidrômetros novos.

Através da medida materializada da bancada de calibração de hidrômetros, o tanque de valor verdadeiro convencional de 100 L, verificou-se os erros apresentados pelos hidrômetros. Buscava-se confirmar a existência de escorregamento magnético nos hidrômetros novos, os quais são dotados de sistema de transmissão magnética, e o escorregamento nos hidrômetros substituídos dotados de transmissão mecânica.

Os resultados para a perda de sincronismo magnético nos hidrômetros novos são apresentados nas tabelas 16, 17, 18 e 19 na subseção anterior e conforme já exposto não ficou evidenciada sua existência, pelo menos da maneira que se esperava.

O gráfico com os resultados para os estratos de hidrômetros usados, podem ser visualizados na figura 20, a seguir.

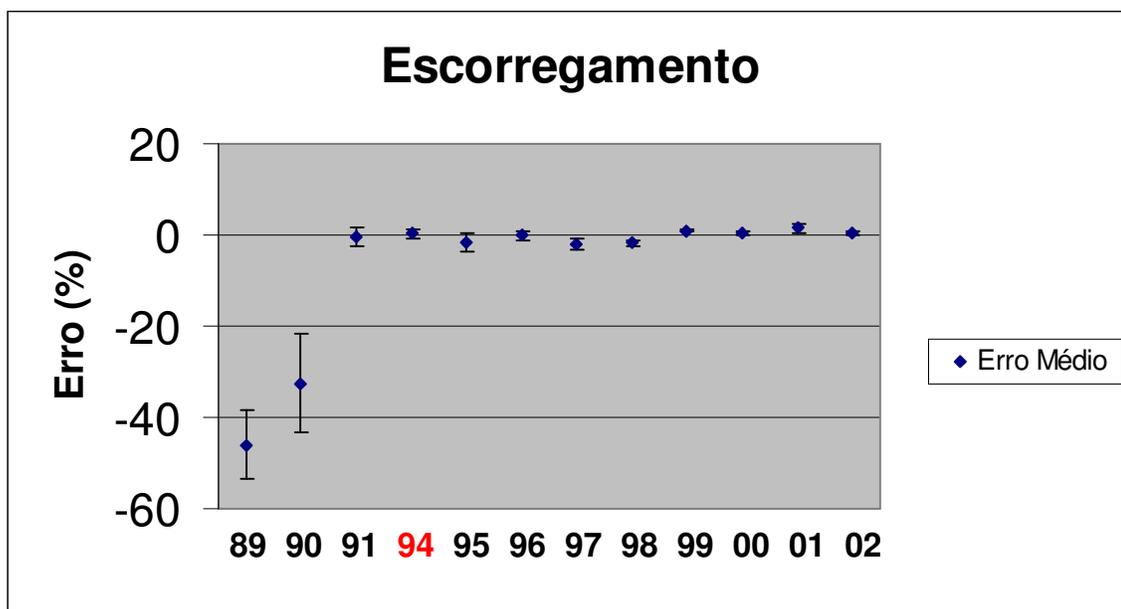


Figura 20 – Gráfico de erros para estratos anuais (escorregamento)

O gráfico mostra que também não há evidências de que ocorra qualquer tipo de problema ou degradação metrológica, com exceção dos estratos anuais de 1989 e 1990, em hidrômetros com transmissão mecânica, sob condições de mudança brusca de vazão.

Analisando-se individualmente o resultado do ensaio de escorregamento nos estratos de 1989 e 1990, o observador seria levado a crer que hidrômetros do fabricante T (ver figura 25) com transmissão mecânica, após 13 anos da instalação, aproximadamente, começariam a apresentar o problema de escorregamento. No entanto, analisando conjuntamente os gráficos dos ensaios de vazão nominal e de escorregamento e ainda se os dois forem apresentados sobrepostos, conforme a figura 21, fica nítido que os erros apresentados são muito parecidos.

O erro encontrado no ensaio de escorregamento para os estratos de 1989 e 1990, portanto, é resultado de degradação metrológica nas vazões próximas a nominal e não devido ao suposto problema de escorregamento.

A diferença verificada entre os resultados dos dois ensaios, ou seja, o fato dos módulos dos erros nestes estratos serem maiores no ensaio de escorregamento, certamente é devido à vazão neste ensaio ser aproximadamente 40 % maior, agravando o problema já apresentado na vazão nominal.

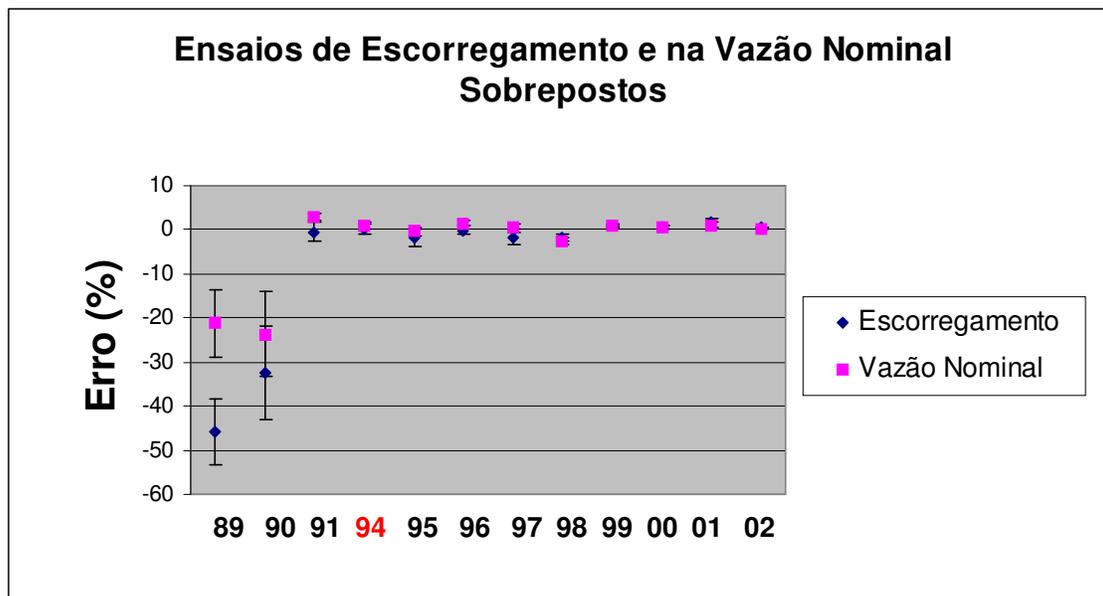


Figura 21 – Gráficos de erros sobrepostos (escorregamento e Q_n)

5.4 Estimativa do Desempenho do Parque para Fundamentação de Implantação de Manutenção Preventiva

Para obter-se a estimativa do desempenho da parcela de hidrômetros residenciais do parque de Blumenau, foram realizados ensaios em amostras deste tipo de hidrômetros, estratificadas segundo o ano de fabricação. As amostras formaram 12 grupos de hidrômetros com anos entre 1989 e 2002, com exceção dos anos de 1992 e 1993, os quais não têm significância no parque. Também não foi possível obter amostra representativa do ano de 1994, mas apesar disto a amostra possível foi considerada na análise.

Os ensaios realizados para o estudo do desempenho desta parcela do parque, a fim de fundamentar a implantação de manutenção preventiva na mesma, foram os previstos pela portaria nº 246 do INMETRO, ou seja, nas vazões nominal, de transição e mínima.

Na figura 22, é apresentado o resultado dos ensaios na vazão nominal para os 12 estratos.

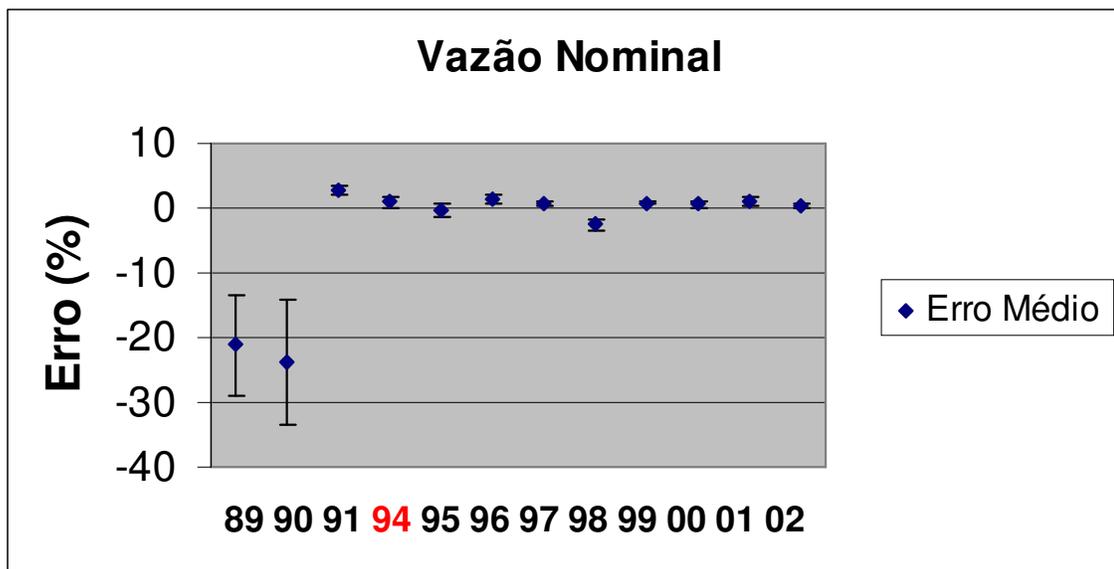


Figura 22 – Gráfico de erros para estratos anuais (Qn)

Os resultados apresentados acima evidenciam que os hidrômetros da amostra da parcela de classe de vazão A e Y do parque, quando atravessados por um fluxo de água em vazões próximas a nominal, com exceção dos estratos referentes aos anos de 1989 e 1990, não apresentam degradação metrológica. Os valores de erro se mantiveram dentro dos limites de $\pm 5\%$, estabelecidos pela portaria nº 246 e o respectivo regulamento técnico do INMETRO [INMETRO, 2000], para hidrômetros em serviço.

O estrato do ano de 1989 apresentou erro médio de aproximadamente -45% com uma amplitude do intervalo de confiança, para 95% de confiabilidade, de aproximadamente 15% , ou seja, o erro para hidrômetros com ano de fabricação de 1989, com uma confiabilidade de 95% , encontra-se na faixa de $(-53,43$ a $-38,54)\%$. Já para o ano de 1990, encontra-se na faixa de $(-43,08$ a $-21,82)\%$.

Na figura 23, abaixo, é apresentado o resultado dos ensaios na vazão de transição para os 12 estratos.

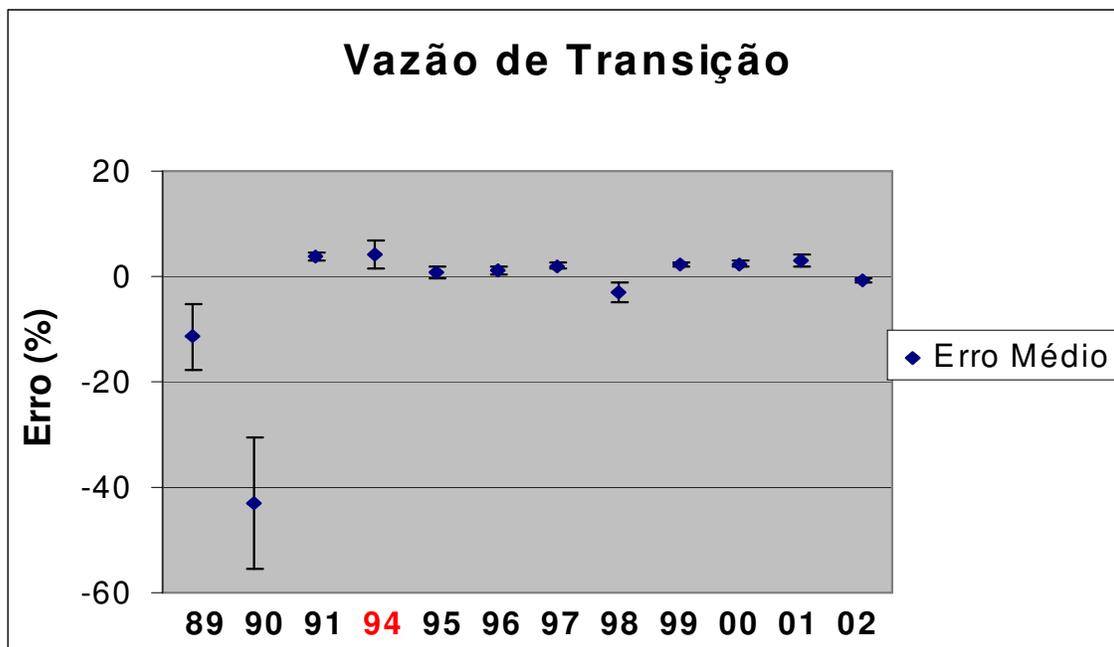


Figura 23 – Gráfico de erros para estratos anuais (Qt)

A exemplo dos resultados dos ensaios de vazão nominal, para a vazão de transição também não há evidências de degradação metrológica. Entre os estratos analisados, apenas os dos anos de 1989 e 1990, apresentaram erros médios acima do limite superior de 5 % estabelecido pelo INMETRO. Portanto no caso dos hidrômetros de 1989 e 1990 operarem com vazões próximas a vazão de transição, os mesmos registrariam volumes menores do que os realmente consumidos. Ressalte-se que esta parcela já seria alvo de substituição devido ao erro apresentado nas vazões próximas à nominal.

Na figura 24, pode ser visualizado o gráfico dos erros médios e respectivos intervalos de confiança apresentados por hidrômetros operando em vazões próximas a vazão mínima, para os 12 estratos estudados. O ano de fabricação em vermelho indica que o estrato não era representativo. Em 1994, a amplitude do intervalo de confiança se tornou elevada, justamente devido à pequena quantidade de dados amostrais, dados estes com grande dispersão neste ensaio.

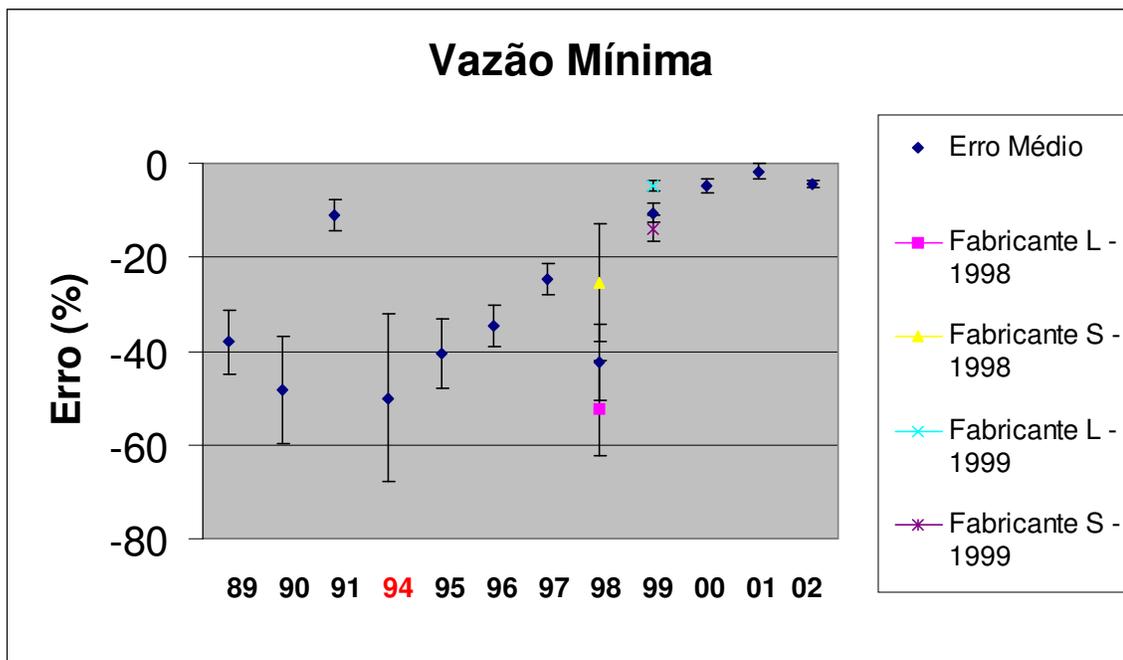


Figura 24 – Gráfico de erros para estratos anuais (Q_{mín})

Já se esperava que os principais problemas de degradação das características metrológicas ocorressem, como pode ser confirmado no gráfico, na vazão mínima.

Na análise do gráfico individualmente, tem-se a impressão de que não há muita coerência nos resultados, pois a degradação temporal deveria ter um comportamento linear e descendente, no entanto se este gráfico for confrontado com o percentual de medidores dos diversos fabricantes do parque, (figura 25) os resultados são mais conclusivos.

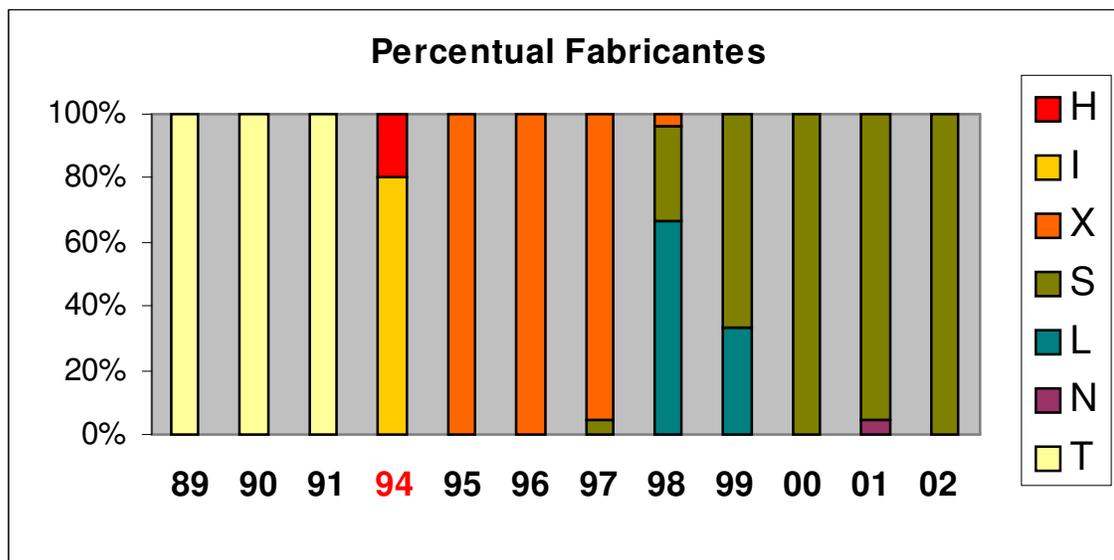


Figura 25 – Constituição do parque quanto aos fabricantes

No diagrama acima pode ser verificado que o parque de micromedição de Blumenau é formado por hidrômetros de 7 (sete) fabricantes distintos, mas pode-se notar que existe uma predominância de alguns fabricantes em períodos determinados. Os hidrômetros instalados entre 1989 e 1991 são todos do fabricante T, no período de 1995 a 1997, praticamente a maioria absoluta é do fabricante X e no período de 2000 a 2002 do fabricante S. Nos anos de 1994, 1998 e 1999, a constituição do parque já é mais heterogênea.

Visualizando-se o gráfico dos erros para a vazão mínima, os medidores do fabricante T, predominantes em 1989, 1990 e 1991 começaram a apresentar problemas mais graves quanto às características metrológicas com 13 e 14 anos de instalação, e com 12 anos já estavam na maioria apresentando erros de medição pouco acima do limite de 10 %, assim o índice de reprovação foi considerável, entre 70 % e 86 %. Pode-se afirmar que ao contrário dos outros fabricantes, estes hidrômetros apresentam problemas de degradação metrológica também em vazões acima da de transição, inclusive.

Eram mais robustos que os fabricados atualmente, construídos com materiais mais resistentes, com mais de onze anos de uso, segundo os resultados apresentados

neste estudo, não sofreram grandes mudanças nas características metrológicas.

Os medidores dos fabricantes I e H foram usados apenas em 1994. Apesar da amostra não ser representativa, pode-se verificar, que, segundo os ensaios, as características metrológicas são bastante degradadas a pequenas vazões. Este estrato apresentou um índice de reprovação de 100 %.

Os medidores do fabricante X, predominância do parque em 1995, 1996 e 1997, segundo os resultados no gráfico, apresentam problemas nas vazões próximas de $Q_{mín}$, com mais de 6 (seis) anos de instalação, no entanto em outras vazões (dentro das especificações), as características metrológicas se mantiveram praticamente estáveis.

Entre os anos de 1998 e 2002, a instalação predominante de hidrômetros foi do fabricante S.

No estrato dos hidrômetros de 1998, a predominância foi do fabricante L, com 18 hidrômetros (66,67 %), logo em seguida, 8 do fabricante S (29,63 %) e apenas 01 do fabricante X (3,7 %). Houve degradação das características metrológicas, no entanto apenas a pequenas vazões. Vale ressaltar que os índices de reprovação nos hidrômetros ensaiados dos fabricantes L, S e X, respectivamente, foram 66,67 %, 50 % e 100 % e que os limites dos intervalos de confiança para os erros foram de (-38 a -13) % nos hidrômetros do fabricante S e de (-62 a -42) % nos do fabricante L.

No ano de 1999, se for considerado o intervalo de confiança do erro médio geral, este poderia extrapolar o limite inferior de tolerância do INMETRO. Se, ainda, for separado no ano de 1999 os hidrômetros dos fabricantes S e L e recalculado o erro médio de cada fabricante e seus intervalos de confiança (veja figura 18), respectivamente apresentariam intervalos de confiança de (-16,73 a -11,11) % nos do fabricante S e (-5,82 a -3,70) % nos do fabricante L, além de índices de reprovação de 46,43 % no S e 21,43 % no L.

Nas amostras de 2000, 2001 e 2002 as características metrológicas se mantiveram estáveis e dentro dos limites regulamentados pelo INMETRO.

Capítulo 6

Conclusões e Recomendações Finais

Este trabalho apresenta uma metodologia de um levantamento analítico da submedição em hidrômetros para principalmente fundamentar um plano de manutenção preventiva (substituição programada) do parque de Blumenau, o qual, segundo o resultado da análise dos hidrômetros substituídos é vantajosa. As condições abordadas refletem as necessidades específicas de substituição de hidrômetros residenciais, classe de vazão A e Y, mas a proposta pode ser viabilizada para as outras parcelas do parque.

6.1 Conclusões para Hidrômetros Instalados Incorretamente

Ao circular pelas ruas da cidade de Blumenau, atentando-se para as ligações de água, verifica-se, que raros são os cavaletes equipados com hidrômetros do porte dos analisados neste estudo, que não se encontram inclinados.

Diante das estimativas dos erros médios de medição de hidrômetros instalados inclinadamente e dos resultados apresentados neste estudo, verifica-se a

necessidade de promover, prioritariamente, a correção da instalação de hidrômetros nos cavaletes com estes medidores inclinados.

Considerando o melhor caso, ou seja, o limite inferior do intervalo de confiança para o erro médio nas inclinações de 22,5°, 45° e 90°, apresentaria -5,56 %, -8,52 % e -15,09 % de erro de medição em vazões próximas a mínima.

O ato, comum dos leituristas, de inclinar o hidrômetro para facilitar a leitura, ocasiona perdas de faturamento que podem ser significativas. Torna-se necessária aplicação de treinamento para abolir totalmente esta prática da rotina dos leituristas, concientizando-os dos custos envolvidos.

Uma alternativa para que a leitura não seja dificultada, facilitando o trabalho diário destes trabalhadores, seria a aquisição e uso, doravante, só de hidrômetros, já existentes no mercado, construídos com o mostrador inclinado no dispositivo totalizador, nas chamadas “relojoarias”, sem necessitar a inclinação do hidrômetro em si.

6.2 Conclusões sobre Hidrômetros sob Efeito de Escorregamento

Na fase inicial deste trabalho, quando estavam sendo analisadas as empresas credenciadas pelo INMETRO, para a execução dos ensaios necessários a este trabalho, verificou-se que a empresa Hibratex de Blumenau realizava além dos ensaios previstos na portaria nº 246 do INMETRO e no respectivo regulamento técnico [INMETRO, 2000], um ensaio de escorregamento, até mesmo em hidrômetros de transmissão mecânica.

A princípio supunha-se, que ocorresse o escorregamento apenas em hidrômetros com transmissão magnética e portanto realizá-lo em hidrômetros com transmissão mecânica seria um custo desnecessário. No entanto para confirmar a afirmação dos técnicos desta empresa resolveu-se manter o ensaio.

Com base nos resultados alcançados pode-se concluir, que não há evidências de escorregamento em hidrômetros de transmissão mecânica. Os resultados encontrados nestes ensaios foram muito semelhantes aos encontrados nos ensaios

na vazão nominal. Explicável pelo fato das vazões nos dois ensaios serem próximas.

Já nos ensaios de escorregamento nos hidrômetros novos, dotados de transmissão magnética, os resultados foram inusitados. Há evidências, que a mudança brusca de vazão não interfere na exatidão do hidrômetro tornando a tendência negativa conforme se esperava, no entanto comparando os gráficos dos ensaios de escorregamento e de vazão nominal, pode-se verificar que houve uma mudança no comportamento do erro.

Considerando que os dois ensaios são realizados em grandes vazões, próximas da nominal e que os resultados dos dois ensaios deveriam ser, a exemplo dos ensaios nos hidrômetros usados, muito próximos, verifica-se que na situação do ensaio de escorregamento na instalação correta (inclinação 0º) houve um incremento nos valores médios de erro de aproximadamente 2 %, ou seja, na vazão nominal o erro manteve-se em torno de -1 %, já no ensaio de escorregamento em torno de +1 %. Isto pode levar a hipótese de que a mudança brusca de vazão, ao contrário do que se esperava, torna a tendência positiva.

Para a confirmação desta hipótese e atentando-se para o fato de que o problema de escorregamento magnético possa vir a ocorrer com a degradação metrológica temporal, é aconselhável o monitoramento desta amostra ao longo dos anos e ainda que em futuras análises, o número de elementos seja maior.

6.3 Conclusões e Recomendações sobre o Desempenho do Parque de Hidrômetros de Blumenau – SC

Antes de qualquer inferência deve-se ressaltar que um estudo do desempenho metrológico de hidrômetros pode apresentar resultados mais exatos se forem diminuídos os módulos das fontes de incertezas de medição: resolução do padrão e principalmente a repetitividade dos resultados dos ensaios. Estratificar os consumidores segundo faixas de consumo mensal de amplitudes definidas, pode atuar na incerteza devido a repetitividade diminuindo a dispersão.

Conforme comentado anteriormente, o gráfico dos resultados dos estratos anuais no ensaio de vazão mínima, onde ocorreram a maioria dos problemas de degradação temporal das características metrológicas, parece incoerente, no entanto

se for comparado com a distribuição dos vários fabricantes do parque (figura 25), este passa a ser mais conclusivo.

No ano de 1994, com hidrômetros dos fabricantes I e H, apesar da amostra não ser representativa, verificou-se através do alto percentual de reprovação que os hidrômetros devem ser substituídos, até mesmo porque apresentaram erro médio com limites do intervalo de confiança de (-68 a -32) %.

Os hidrômetros do fabricante T, predominantes no período de 1989 a 1991, apresentaram evidências de degradação metrológica temporal acentuadas, quando atravessados por fluxos de água sob vazões próximas a mínima (figura 26), e ao contrário dos outros fabricantes, sob vazões próximas a nominal, os problemas também aparecem (figura 27).

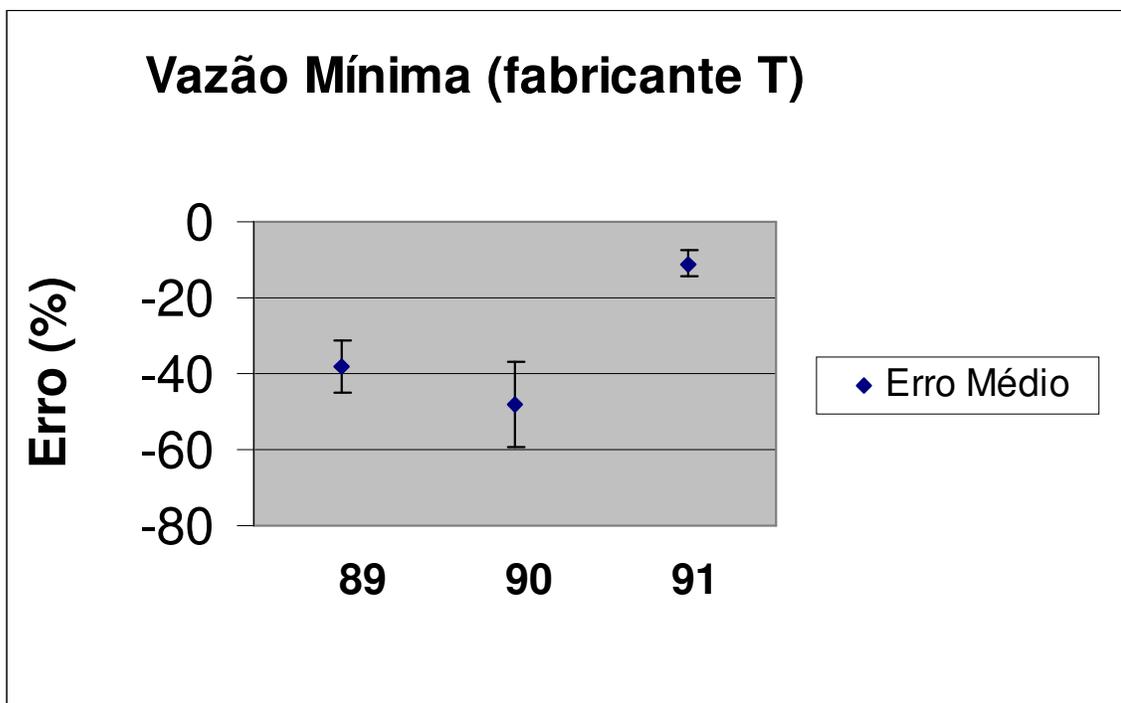


Figura 26 – Gráfico de erros para estratos anuais (fabricante T - Qmín)

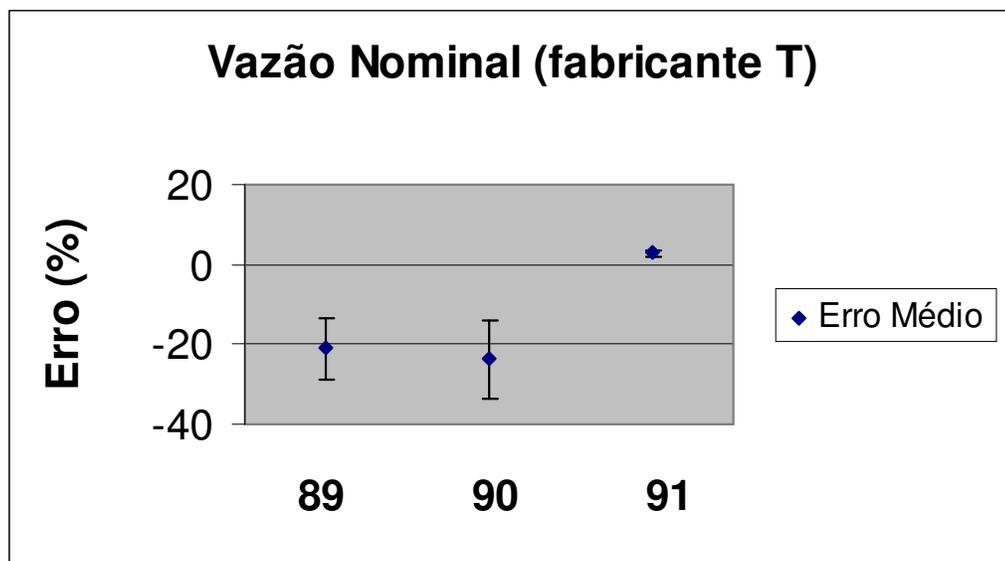


Figura 27 – Gráfico de erros para estratos anuais (fabricante T - Qn)

Segundo os resultados nos gráficos acima, com aproximadamente 11 anos de uso, o valor médio dos erros de medição para a vazão nominal se encontra dentro dos limites de $\pm 5\%$, já para a vazão mínima estão fora dos limites tolerados pelo INMETRO, apresentando erro sistemático, com 95% de confiabilidade, entre (-7,78 e -14,38)%. Estes valores podem não justificarem a substituição, o que seria confirmado com uma análise de custo-benefício.

Com 12 e 13 anos de uso (em relação à retirada em 2003) evidencia-se um aumento drástico do erro, chegando a erros médios com limites do intervalo de confiança de, respectivamente, (-44,32 a -31,26)% e (-59,32 a -37,00)%.

Conforme o exposto pode-se afirmar, que os hidrômetros de classe de vazão A do fabricante T, somente a partir de 11 anos da instalação devem ser substituídos e que conseqüentemente são hidrômetros robustos com pouca degradação metrológica ao passar dos anos.

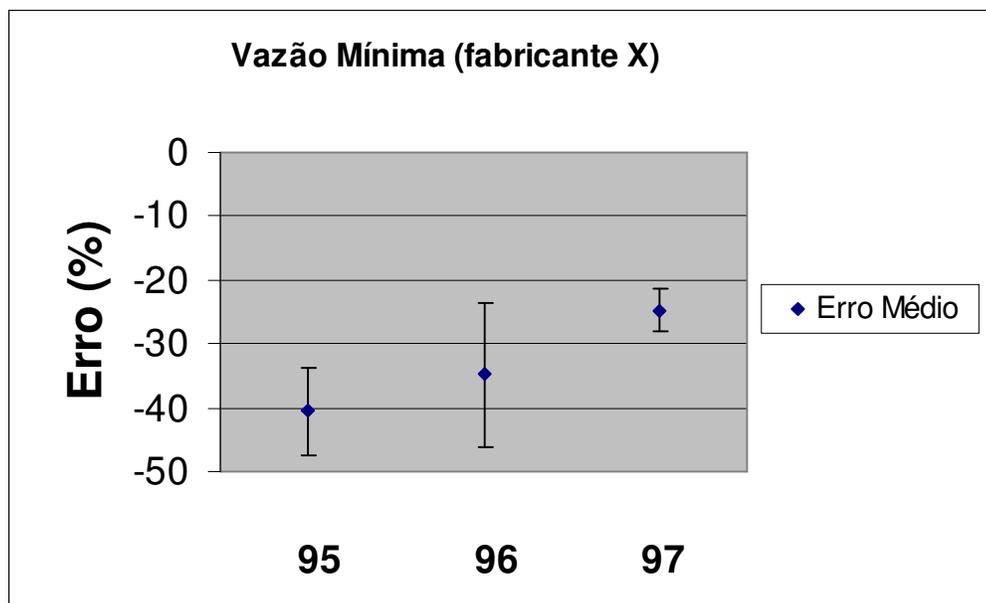


Figura 28 – Gráfico de erros para estratos anuais (fabricante X)

No estrato de 1997, com apenas 4 elementos do fabricante S e 83 do fabricante X, segundo figura 28, verifica-se que os erros médios apresentados para vazões próxima a mínima, já extrapolam os limites de erro tolerados pelo INMETRO de $\pm 10\%$, em aproximadamente 15%, sendo que com 7 e 8 anos da instalação já há um aumento do erro para, respectivamente, -35% e -40%. Os hidrômetros do fabricante X, portanto, devem ser substituídos a partir de 6 anos de instalação, ou seja, todos instalados no parque.

Os hidrômetros do fabricante L são predominantes na parcela do parque com ano de instalação de 1998 e 1999, sendo que conforme verificado no gráfico da figura 29, apresentam problemas graves nas características metrológicas já a partir do 4º (quarto) ano de instalação, chegando a erros médios de aproximadamente -50% e, portanto perante a este valor, com garantia de retorno financeiro devem ser substituídos.

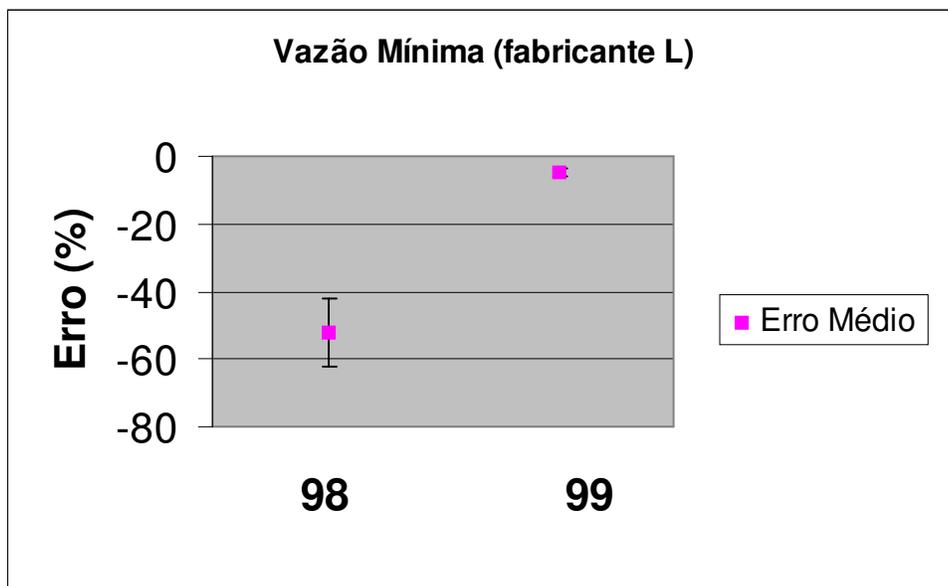


Figura 29 – Gráfico de erros para estratos anuais (fabricante L)

Para o período de 1998 a 2002, predominância do fabricante S, (exceto em 1998) a degradação das características metrológicas manifestou-se mais acentuadamente a partir do 4º (quarto) ano de uso.

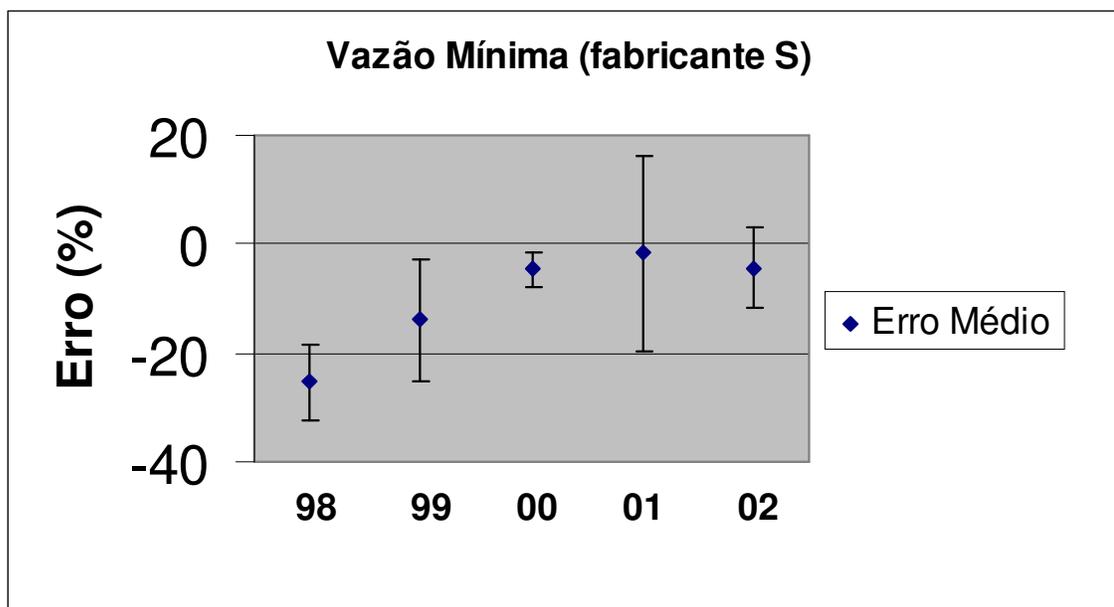


Figura 30 – Gráfico de erros para estratos anuais (fabricante S)

Hidrômetros de 1998, classe de vazão A, que foram retirados do parque em 2003, já apresentavam, conforme figura 30, erros médios de aproximadamente -25%. Portanto segundo este estudo, com cinco anos de uso, são mais confiáveis do que os hidrômetros do fabricante L, no entanto, sua substituição também com certeza traria retorno financeiro para o SAMAE.

No estrato do ano de 2002 (figura 30) nota-se uma pequena diferença em relação ao do ano de 2001. O erro médio é um pouco maior que no ano de 2001, levando a conclusão que com 1 (um) ano de uso estaria pior, quanto as características metrológicas, do que com 2 (dois) anos de uso, entretanto deve-se salientar que o estrato de 2002 é formado, basicamente, já por hidrômetros classe de vazão Y e assim pode-se concluir que estes hidrômetros apresentam uma degradação maior ao longo dos anos, o que só poderá ser confirmado com estudos futuros nesta parcela do parque.

Originalmente pretendia-se estabelecer uma estimativa geral de periodicidade ótima de substituição de hidrômetros [ARREGUI, 1998; AWWA, 1966] classe de vazão A e Y para o parque de Blumenau. No entanto, devido aos vários fabricantes constituintes do mesmo e seus comportamentos adversos, foi necessário primeiramente a análise em separado.

Este estudo já possibilita uma visão geral do desempenho do parque e aliado a um estudo de custo-benefício, seria possível determinar a periodicidade ótima, ou seja, o estabelecimento dos intervalos entre avaliações da conformidade dos hidrômetros de cada fabricante em separado.

6.4 Recomendação para Melhoria no Procedimento de Verificações Iniciais e Periódicas de Hidrômetros

Foi constatado quando apresentados os resultados dos ensaios pelo laboratório contratado, que os laudos dos hidrômetros ensaiados, apesar de estarem conformes com o DIMEL/INMETRO, para um estudo deste tipo são incompletos e também que na licitação não foi exigido que o laboratório contratado comprovasse a realização da verificação periódica do INMETRO no ano dos ensaios.

Não houve comprovação por parte do laboratório, que este tivesse em dia com

as verificações no ano de 2004, no qual a maioria dos ensaios foi realizada. Não foram levadas em conta, nenhuma fonte de incerteza de medição, sendo a avaliação da conformidade direta sobre o valor médio dos erros aleatórios encontrados em cada repetição, sendo este o único valor informado no laudo.

Para uma melhoria na confiabilidade dos resultados dos ensaios, os laudos deveriam apresentar informações adicionais. Para a análise individual da variância das indicações é necessário conhecer os valores de pelo menos três indicações dos hidrômetros a verificar, sob condições de repetitividade, além de ser utilizado um critério de conformidade mais confiável, que leve em conta as principais fontes de incerteza e não somente o valor da tendência diretamente, assim como no levantamento analítico deste trabalho.

A expressão completa do erro apresentado por hidrômetros no laudo de verificação metrológica deveria incluir informações sobre a incerteza de medição combinada [INMETRO, 2000c], além do resultado base corrigido por uma tendência estimada para a bancada de ensaios, na verificação realizada pelo DIMEL/INMETRO.

Resta às empresas de saneamento como o SAMAE Blumenau, em busca da qualidade e eficiência, especificar nas licitações, que os laboratórios apresentem certificado de verificação e aprovação expedido pelo DIMEL/INMETRO e que os laudos sejam considerados como base de informação para estudos sobre sua principal fonte de receita, os hidrômetros, paralelamente ao fato de serem empresas prestadoras de um serviço essencial justo, mas que deve inibir práticas de desperdício de água.

A seguir são apresentadas figuras com uma proposta de apresentação dos resultados de verificações metrológicas em hidrômetros e a avaliação de incertezas (em MS Excel).

Em um primeiro momento em uma folha de dados eletrônica seriam preenchidos os dados referentes ao padrão e aos hidrômetros a verificar (figura 31) e logo em seguida as leituras (figura 32) de volume em cada hidrômetro para cada ensaio.

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
34	Dados do Certificado de Calibração do Padrão:																
35	(tanque V=100 L)																
36	Grau de Abrangência				Incerteza												
37	2				: 0,2 (L)												
38																	
39	Resolução do Padrão				Correção												
40	10 (L)				0 (L)												
41																	
42																	
43																	
44																	
45																	
46																	
47																	
48																	
49																	
50																	
51	Dados do Certificado de Calibração do Padrão:																
52	(tanque V=10 L)																
53	Grau de Abrangência				Incerteza												
54	2				: 0,02 (L)												
55																	
56	Resolução do Padrão				Correção												
57	1 (L)				0 (L)												
58																	
59																	
60																	
61																	
62																	
63																	
64																	
65																	
66	Dados do Hidrômetro a calibrar:																
67	Vazão Nominal				Resolução do hidrômetro												
68	1,5 (m ³ /h)				0,0001 (L)												
69																	
70	Vazão de Transição				Vazão Mínima												
71	0,15 (m ³ /h)				0,015 (m ³ /h)												
72																	
73																	
74																	
75																	
76																	

Tela inteira x
Fechar tela inteira

Página de dados Cálculos e Tabelas Balanço de incertezas Relatório

Figura 31 – Páginas de dados para avaliação de incertezas em verificações metrológicas de hidrômetros (1ª Parte)

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1														
2		Identificação do Hidrômetro:		A96L234567	Data:		06/12/04							
3														
4														
5														
6		Indicações ensaio de Escorregamnto:												
7		Leitura 1		Leitura 2		Leitura 3								
8														
9		94,5		96		97,5								
10														
11														
12														
13		Indicações ensaio da Vazão Nominal:												
14		Leitura 1		Leitura 2		Leitura 3								
15														
16		98,2584		97,5489		97,2587								
17														
18														
19														
20		Indicações ensaio da Vazão de Transição:												
21		Leitura 1		Leitura 2		Leitura 3								
22														
23		8,5978		8,7956		9,0452								
24														
25														
26														
27		Indicações ensaio da Vazão Mínima:												
28		Leitura 1		Leitura 2		Leitura 3								
29														
30		7,2586		6,9875		6,7864								
31														
32														
33														
34														
35														

Figura 32 – Páginas de dados para avaliação de incertezas em verificações metrológicas de hidrômetros (2ª Parte)

Nas figuras 33, 34 e 35 são apresentados as planilhas de cálculo e avaliação de incertezas, as quais vão permitir que o laudo seja mais completo e que a aprovação e reprovação dos hidrômetros nos ensaios sejam mais confiáveis.

Dados do padrão: referência ao certificado do INMETRO												
Ensaio	VN (L)	C (L)	±U95% (L)	K	ω	VVC (L)						
1	100,000	0,000	0,200	2,000	274	100,000						
2	100,000	0,000	0,200	2,000	274	100,000						
3	10,000	0,000	0,020	2,000	274	10,000						
4	10,000	0,000	0,020	2,000	274	10,000						
1) Ensaio de Escorregamento:												
(L)	VVC (L)	±U95% (L)	Indicação 1 (L)	Indicação 2 (L)	Indicação 3 (L)	Média (L)	D. Padrão (L)	Tendência (L)	Correção (L)	Tendência (%)		
100,000	100,000	0,200	94,5000	96,0000	97,5000	96,0000	1,5000	-4,0000	4,0000	-4		
2) Ensaio de Vazão Nominal:												
VN (L)	VVC (L)	±U95% (L)	Indicação 1 (L)	Indicação 2 (L)	Indicação 3 (L)	Média (L)	D. Padrão (L)	Tendência (L)	Correção (L)	Tendência (%)		
100,000	100,000	0,200	98,2584	97,5489	97,2687	97,6887	0,5143	-2,3113	2,3113	-2,311333333		
3) Ensaio de Vazão de Transição:												
VN (L)	VVC (L)	±U95% (L)	Indicação 1 (L)	Indicação 2 (L)	Indicação 3 (L)	Média (L)	D. Padrão (L)	Tendência (L)	Correção (L)	Tendência (%)		
10,000	10,000	0,020	8,5978	8,7956	9,0452	8,8129	0,2242	-1,1871	1,1871	-11,871333333		
4) Ensaio de Vazão Mínima:												
VN (L)	VVC (L)	±U95% (L)	Indicação 1 (L)	Indicação 2 (L)	Indicação 3 (L)	Média (L)	D. Padrão (L)	Tendência (L)	Correção (L)	Tendência (%)		
10,000	10,000	0,020	7,2586	6,9875	6,7864	7,0108	0,2370	-2,9892	2,9892	-29,891666667		

Figura 33 – Planilha de cálculos e tabelas

Balço de Incertezas para Ensaio de Escorregamento							
Fontes de Incerteza		Componente Sistemática	Efeitos Aleatórios				
Símbolo	Identificação	Correção (L)	Valor u (L)	Distribuição de Probabilidade	Divisor	Incerteza Padrão (u _i)	Graus de Liberdade (v _i)
u _a	Avaliação Tipo A	4,0000	0,8660	Normal	1,0000	0,8660	4
u _c	Calibração do Tanque	0,0000	0,2000	Normal	2,0000	0,1000	infinito
u _h	Resolução do Padrão		10,0000	Retangular	1,7321	5,7735	infinito
u _{h1}	Resolução do Hidrômetro		0,0001	Retangular	1,7321	0,0001	infinito
C _r	Correção Combinada	4,0000					
u _c	<i>Incerteza Combinada</i>			Normal		5,8389	8265,6382
U _{95%}	<i>Incerteza Expandida</i>			Normal K =	1,9603	11,4458	

Balço de Incertezas para Ensaio de Yazão Nominal							
Fontes de Incerteza		Componente Sistemática	Efeitos Aleatórios				
Símbolo	Identificação	Correção (L)	Valor u (L)	Distribuição de Probabilidade	Divisor	Incerteza Padrão (u _i)	Graus de Liberdade (v _i)
u _a	Avaliação Tipo A	2,3113	0,2969	Normal	1,0000	0,2969	4
u _c	Calibração do Tanque	0,0000	0,2000	Normal	2,0000	0,1000	infinito
u _h	Resolução do Padrão		10,0000	Retangular	1,7321	5,7735	infinito
u _{h1}	Resolução do Hidrômetro		0,0001	Retangular	1,7321	0,0001	infinito
C _r	Correção Combinada	2,3113					
u _c	<i>Incerteza Combinada</i>			Normal		5,7820	575121,2192
U _{95%}	<i>Incerteza Expandida</i>			Normal K =	1,9600	11,3325	

Balço de Incertezas para Ensaio de Yazão de Transição							
Fontes de Incerteza		Componente Sistemática	Efeitos Aleatórios				

Figura 34 – Planilha de Balço de Incertezas (1ª parte)

Balanco de Incertezas para Ensaio de Vazão de Transição								
Fontes de Incerteza		Componente Sistemática	Efeitos Aleatórios					
Símbolo	Identificação	Correção (L)	Valor u (L)	Distribuição de Probabilidade	Divisor	Incerteza Padrão (u _i)	Graus de Liberdade (v _i)	
u _A	Avaliação Tipo A	1,1871	0,1294	Normal	1,0000	0,1294	4	
u _C	Calibração do Tanque	0,0000	0,0200	Normal	2,0000	0,0100	infinito	
u _R	Resolução do Padrão		1,0000	Retangular	1,7321	0,5774	infinito	
u _{R1}	Resolução do Hidrômetro		0,0001	Retangular	1,7321	0,0001	infinito	
Cr	Correção Combinada	1,1871						
u _c	<i>Incerteza Combinada</i>			Normal		0,5918	1747,3088	
U _{95%}	<i>Incerteza Expandida</i>			Normal K =	1,9613	1,1606		
Balanco de Incertezas para Ensaio de Vazão Mínima								
Fontes de Incerteza		Componente Sistemática	Efeitos Aleatórios					
Símbolo	Identificação	Correção (L)	Valor u (L)	Distribuição de Probabilidade	Divisor	Incerteza Padrão (u _i)	Graus de Liberdade (v _i)	
u _A	Avaliação Tipo A	2,9892	0,1368	Normal	1,0000	0,1368	4	
u _C	Calibração do Tanque	0,0000	0,0200	Normal	2,0000	0,0100	infinito	
u _R	Resolução do Padrão		1,0000	Retangular	1,7321	0,5774	infinito	
u _{R1}	Resolução do Hidrômetro		0,0001	Retangular	1,7321	0,0001	infinito	
Cr	Correção Combinada	2,9892						
u _c	<i>Incerteza Combinada</i>			Normal		0,5934	1415,3104	
U _{95%}	<i>Incerteza Expandida</i>			Normal K =	1,9616	1,1641		

Figura 35 – Planilha de Balanco de Incertezas (2ª parte)

Na figura 36, a seguir, é apresentado uma proposta para laudo de uma verificação metrológica em hidrômetros, onde constam além dos erros médios apresentados pelo hidrômetro nas vazões de ensaio, também seus intervalos de confiança, considerando as principais fontes de incerteza.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2			Laudo de Calibração de Hidrômetro		Identificação:		A96L234567	
3					Data:		06/12/04	
4								
5			Erro Apresentado no Ensaio de Escorregamento					
6			Limite Inferior do Intervalo de Confiança (%)		-15,4458			
7			Erro Médio (%)		-4,0000			
8			Limite Superior do Intervalo de Confiança (%)		7,4458			
9								
10								
11			Erro Apresentado no Ensaio de Vazão Nominal					
12			Limite Inferior do Intervalo de Confiança (%)		-13,6439			
13			Erro Médio (%)		-2,3113			
14			Limite Superior do Intervalo de Confiança (%)		9,0212			
15								
16								
17			Erro Apresentado no Ensaio de Vazão de Transição					
18			Limite Inferior do Intervalo de Confiança (%)		-23,4778			
19			Erro Médio (%)		-11,8713			
20			Limite Superior do Intervalo de Confiança (%)		-0,2649			
21								
22								
23			Erro Apresentado no Ensaio de Vazão Mínima					
24			Limite Inferior do Intervalo de Confiança (%)		-41,5325			
25			Erro Médio (%)		-29,8917			
26			Limite Superior do Intervalo de Confiança		-18,2508			
27								
28								
29								
30								

Tela inteira
Fechar tela inteira

Relatório

Figura 36 – Laudo final de verificação metroológica de hidrômetros

6.5 Recomendações para Trabalhos Futuros

- Estabelecer um método de avaliação da conformidade nos ensaios de verificação metroológica eventuais e periódicos de hidrômetros, que leve em conta as principais fontes de incerteza conforme o GUM [BIPM, 1998], com limites definidos para zonas de dúvida na faixa de tolerância
- Verificar a estabilidade dos hidrômetros classe de vazão Y, do modelo e fabricante utilizados na substituição na parcela do parque analisada neste estudo, para as condições operacionais de Blumenau, ou seja, a aptidão dos hidrômetros substitutos, sendo mantidas as “condições de utilização” [INMETRO, 2000c], conservarem-se sem danos e com a degradação das características metroológicas ao longo do tempo dentro de uma faixa de tolerância

aceitável.

- Nas análises rotineiras da qualidade da água também não são avaliadas e levadas em conta as fontes de incerteza nas medições diversas, específicas de seu tratamento, tais como de pH, turbidez, residual de cloro, entre outras. Poderia ser verificada em um trabalho futuro, a relevância desta avaliação e o cumprimento dos requisitos da norma ISO 17025, que é mais coerente com a natureza dos serviços realizados pelo laboratório de análises físico-químicas do SAMAE.

No capítulo 2 já foram apresentados algumas proposições de aplicação de metrologia como ferramenta para o controle de perdas, as quais podem ser consideradas também como alvos de futuros trabalhos, tais como:

- Estimativa do desempenho das outras parcelas do parque de hidrômetros, ou seja, dos medidores de água de outras classes de vazão não contempladas neste trabalho. A metodologia utilizada aqui poderá ser utilizada nestes;
- Uso de Hidrômetros Classe Metrológica C e Eletrônicos;
- Análise do custo/benefício da criação de laboratório interno de verificação metrológica em hidrômetros;
- Calibração “in situ” de macromedidores de vazão e nível de reservatórios;
- Concepção, montagem e validação do protótipo de um equipamento para ensaios de rendimento em motobombas.

Referências Bibliográficas

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 212:** Hidrômetros Velocimétricos para Água Fria de Vazão Nominal até 15 m³/h. Rio de Janeiro, 1999.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8193:** Hidrômetro Taquimétrico para Água Fria até 15 m³/h de Vazão Nominal - Especificação. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8194:** Hidrômetro Taquimétrico para Água Fria até 15 m³/h de Vazão Nominal - Padronização. Rio de Janeiro, 1997b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14005:** Medidor Velocimétrico para Água Fria, de 15 até 1.500 m³/h de Vazão Nominal. Rio de Janeiro, 1997c.

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

ALEGRE H. et al. **Indicadores de Desempenho para Serviços de Abastecimento de Água.** IWA – International Water Association, 2000.

ALVES, W.C. et al. **Micromedição**. Documento Técnico de Apoio nº D3. Revisão 2004 – Presidência da República. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. PNCDA – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Brasília, 2004. 171 p

ANACLETO, A. Hidrômetros. **A Notícia**, Joinville – SC, 27 abr. 2000. ANCidade. Disponível em < <http://an.uol.com.br/2000/abr/27/0cid.htm> >. Acesso em: 20 out. 2002

ANDRÉS, M. **Mejora del Rendimiento y de la Fiabilidad en Sistemas de Distribución de Agua** – Ed. Grupo de Mecánica de Fluidos – Universidad Politecnica de Valencia, 1995.

ARREGUI, F. DE LA C. **Propuesta de una Metodología para el Análisis y Gestión del Parque de Contadores de Agua en un Abastecimiento** – Tesis Doctoral - Universidad Politecnica de Valencia – Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, 1998

ARREGUI, F. J. et al. **Metodologia para la Evaluación del Error de Medición de un Parque de Contadores**. Ed. Grupo Mecánica de Fluidos – Universidad Politecnica de Valencia, 1998b.

ASME – AMERICAN SOCIETY MECHANICAL ENGINEERS. **Fluid Meters their Theory and Application**. Report, 6th Ed., 1971. 273 p

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND METATERIALS STANDARD. **Standard practice for calibration of type S pitot tubes**. ASTM D3796. 1990

AWWA – AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **Water Meters – Selection, Installation, Testing and Maintenance** – AWWA, 3rd Edition, Denver, CO, 1986.

AWWA – AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **Determination of Economic Period for Water Meters Replacement** – Journal of AWWA, 1966.

BÁGGIO, M. A. Perdas D'água: Um Novo Enfoque para Evitá-las. In: XXVI Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – AIDIS - Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, **Anais** em CD ROM. 1998

BENEDICT, R. P. **Fundamentals of Temperature, Pressure and flow Measurements**. 3rd Ed., John Wiley & Sons, New York, 1984.

BIPM, et al. Guia para a Expressão da Incerteza de Medição. 2. ed. Tradução por INMETRO et al. de “Guide to the expression of uncertainty in measurement”. INMETRO, Rio de Janeiro, ago. 1998.

BRASIL – Ministério da Saúde. **Portaria nº 518 de 25/03/2004**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília, mar. 2004.

BUTLER D. **Leakage Detection and Management**. UK Palmer Environmental, 2000

CAMPBELL, D. T. STANLEY, J. **Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research**. Boston: Houghton Mifflin Company, 1979.

CASTILHO, W. A. et al. **Macromedição** - Documento Técnico de Apoio nº D2. Versão Preliminar. Presidência da República. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. PNCDA – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Brasília, 1999.

CAVALCANTI, A. C. Experiência de Utilização de Hidrômetros Classe C em

Grandes Consumidores. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais** em CD ROM, 2002.

CAVALCANTI , A. C. **Medição de Água e Controle de Perdas**. Editora Comunicarte, 1996.

CAVALCANTI , A. C. Otimização dos Métodos de Ensaio de Hidrômetros. In: XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. **Anais** em CD ROM. 1999.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Medição de Vazão de Água por Meio de Tubo de Pitot**. CETESB L4.250 - Procedimento. São Paulo, 1990.

COLE, E.S. **The Pitot Tube in Current Practice**. Civil Engineering, vol. 5, 1935.

DELMÉE, G. J. **Manual de Medição de Vazão**. Edgard Blücher, São Paulo, 1983.

DOEBELIN, E. O. **Measurement Systems, Application and Design**. 4th Ed., McGraw-Hill, New York, 1990.

FREEDMAN, D. PISANI, R. PURVES, R. **Statistics**. Norton, 1998

FARLEY, M. **Leakage Assesment, Monitoring and Control**. Paper. UK Malcom Farley Associates, April 2001.

GALIZIA, J. T. Entrevista concedida ao Fantástico/Globo disponível em www.globo.com/fantastico. Acesso em: 27 mar. 2005.

GOMES, J. S. et al. **Calibração de Macromedidores in Situ** – IPT – SABESP. São Paulo, 2002

GOMES, J. S. **Dimensionamento de Hidrômetros e Análise de Traço ABES** – IPT – SABESP. São Paulo, 2001

GONÇALVES, E. **Metodologias para Controle de Perdas em Sistemas de Distribuição de Água – Estudo de Casos da CAESB**. Dissertação de mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Brasília. Brasília, 1998.

HUDSON, W. D. **Reduction of Unaccounted – for Water**. Journal of AWWA, 1964.

INÁCIO, F. DOS S. et al. **Avaliação do Desempenho de Hidrômetros em Sistemas de Abastecimento de Água**. ABES. 1999.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, et. al. Portaria nº 246 de 17/10/2000. Aprova o Regulamento Técnico Metrológico para hidrômetros de água fria, de vazão nominal até 15 m³/h. Brasília, out. 2000.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, et. al. Sistema Internacional de Unidades – SI. 6a. ed. Brasileira, Brasília, 2000b. 114 p.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia – Versão Brasileira do “Vocabulary of basic and general terms in metrology” 2a ed. Brasileira, Brasília, 2000c. 77 p.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Measurement of Fluid Flow in Closed Conduits – Velocity Area Method Using Pitot Static Tubes**. ISO 3966. 1977.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.
Measurement of Water Flow in Closed Conduits – Meters for cold potable water. Part 2: Installation Requirements and Selection. ISO 4064-2. 2001.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.
Measurement of Fluid Flow in Closed Conduits – Methods Using Electromagnetic Flowmeters. ISO 6817. 1992.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.
Measurement of fluid flow in closed conduits – Methods of evaluating the performance of electromagnetic flowmeters for liquids. ISO 9104. 1991.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.
Measurement of fluid flow in closed conduits – Methods using transit time ultrasonic flowmeters. ISO 12765. 1993.

ISO/ABNT – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.
Sistemas de gestão da qualidade. Requisitos. Tradução: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR/ISO 9001:2000, Rio de Janeiro: ABNT, dez. 2000.

ISO/ABNT – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.
Sistemas de gestão da qualidade. Fundamentos e Vocabulário. Tradução: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR/ISO 9000:2000, Rio de Janeiro: ABNT, dez. 2000b.

KAYS, M. Meter Program **Saves Dollars.** Water & Sewage Works. USA, junho, 1976.

LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica.** Ed. Atlas. São Paulo, 1988.

LAMBERT A. **A Review of Performance Indicators for Real Losses from**

Water Supply Systems. Corrected Final Version. IWA/AQUA. January, 2000.

LINUS, A. R. **Água, Micromedicação e Perdas** Scortecci Editora. DMAE. Porto Alegre, 1992.

MALE, J.H., NOSS, R.R., MOORE, I.C. **Identifying and Reducing Losses in Water Distribution Systems.** Noyes Publications. 1985.

MILLER, R. H. **Flow Measurement Engineering Handbook.** 3rd. Edition. McGraw-Hill. New York, 1996.

MOSS, G. Entrevista concedida ao Fantástico/Globo disponível em www.globo.com/fantastico. Acesso em: 27 mar. 2005.

NAGEL, E. **Filosofia da ciência.** Cultrix. São Paulo, 1969

NIELSEN, M. J. et al. **Experimentação e Amostragem Combinadas para Cálculo do Rendimento de Parque de Medidores de Água.** ABES. São Paulo, 2001.

NIELSEN, M. J.

et al. **Medição de Água – Estratégias e Experimentações.** Optagraf Editora & Gráfica. ABES. São Paulo, 2003.

OIML – ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE MATROLOGIA LEGAL. **Recomendation 49 - Water Meters Intended for The Metering of Cold Potable Water.** Part 3: Test Report Format. OIML R 49. 3th Edition. 2004.

OMEGA ENGINNERING. **Introduction to Data Logging Systems.** Disponível em: <[Http://www2.omega.com/techref/data3.html](http://www2.omega.com/techref/data3.html)>. Acesso em: 25 nov. 2004

PNCDA DTA A1. **Apresentação do Programa.** Documento Técnico de Apoio nº A1 Presidência da República. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de

Saneamento Ambiental. PNCDA – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Brasília, 1999.

SAMAE. Desenvolvido por Informare Vision Web Design. Site do SAMAE – Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto. Disponível em: < <http://www.samae.com.br/tarifas/tarifa.asp> >. Acesso em: 20 set. 2004

SILVA, N. N. **Amostragem Probabilística: Um Curso Introdutório**. Edusp. São Paulo, 1996.

SILVA, R.T. et al. **Indicadores de Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água**. Documento Técnico de Apoio nº A2. Presidência da República. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. PNCDA – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Brasília, 1998.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto 2002**. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Brasília, dez. 2003

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto 2003**. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Brasília, dez. 2004.

SOARES, D. **Estudo da Precisão e Confiabilidade Estatística da Macromedição da Unidade de Negócio Leste da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo**. ABES. São Paulo, 2000.

TABORDA, C. **Melhorar a Qualidade de Medição**. EPAL. Portugal, 1998

TORRESANI, M. Geoprocessamento. **Pingo D'água**. Blumenau – S.C., 1ª edição 2005, p. 3. Publicação periódica. Fev., 2005

Apêndice A

Método de Exclusão de Dados Discrepantes pelo Critério de Chauvenet

Supondo-se que medidas sejam tomadas de uma quantidade e que o resultado segue uma distribuição normal, para eliminação de dados discrepantes, usualmente é aplicado um teste, conhecido como critério de Chauvenet para eliminar dados/medidas discrepantes.

O critério de Chauvenet especifica que uma medida pode ser considerada discrepante e pode ser rejeitada se a probabilidade de obter um desvio particular da média é menor que $1/(2.n)$, conforme equação abaixo.

$$Z = \frac{x_i - x_m}{s} < \frac{1}{2.n} \quad \text{Equação 3}$$

A tabela a seguir, lista valores da razão do desvio para o desvio padrão de vários valores de n segundo o Critério de Chauvenet.

Número de Dados	Razão desvio/desvio padrão máximo aceitável
n	dmáx/σ
2	1,15
3	1,38
4	1,54
5	1,65
6	1,73
7	1,8
10	1,96
15	2,13
25	2,33
50	2,57
100	2,81
300	3,14
500	3,29
1000	3,48

Tabela 20 – Critério de Chauvenet para rejeição de dados discrepantes

Na aplicação do critério de Chauvenet para eliminar dados discrepantes calcula-se inicialmente o valor médio e desvio padrão usando-se os valores dos dados/medidas tomadas.

Os desvios das medidas individuais são então comparadas com o desvio padrão de acordo com as informações obtidas, ou por aplicação direta do critério, e então os ponto discrepantes são eliminados.

Para apresentação dos dados/medidas finais, novos valores da média e do desvio padrão são calculados após a eliminação dos dados/medidas discrepantes.

Apêndice B

Testes de Normalidade nas Distribuições dos Dados Amostrais

Para todos os estratos foram feitos 4 (quatro) ensaios, o de escorregamento, na vazão nominal, na vazão de transição e na vazão mínima.

Os ensaios foram realizados para determinar o erro (E1) apresentado por hidrômetros com data de instalação entre 1989 e 2002. Logo em seguida, os erros apresentados por todos hidrômetros foram colocados em ordem crescente e para cada um foi encontrado o escore normal (E. N.) através da divisão de 1 (100%) por (n+1) faixas e também suas respectivas probabilidades (P) através da função do Microsoft Excel INV.NORMP (para cada E.N.). Em seguida calculados os erros aleatórios (E) pela subtração de cada medida da média da amostra. De posse das informações de probabilidades e dos erros aleatórios estes foram utilizados como dados de origem para uma gráfico de linhas. Se a relação entre os dados no gráfico resultante assemelha-se com uma reta, esta se comporta semelhante a uma distribuição normal.

Na figura a seguir é apresentada um exemplo das planilhas descritas acima.

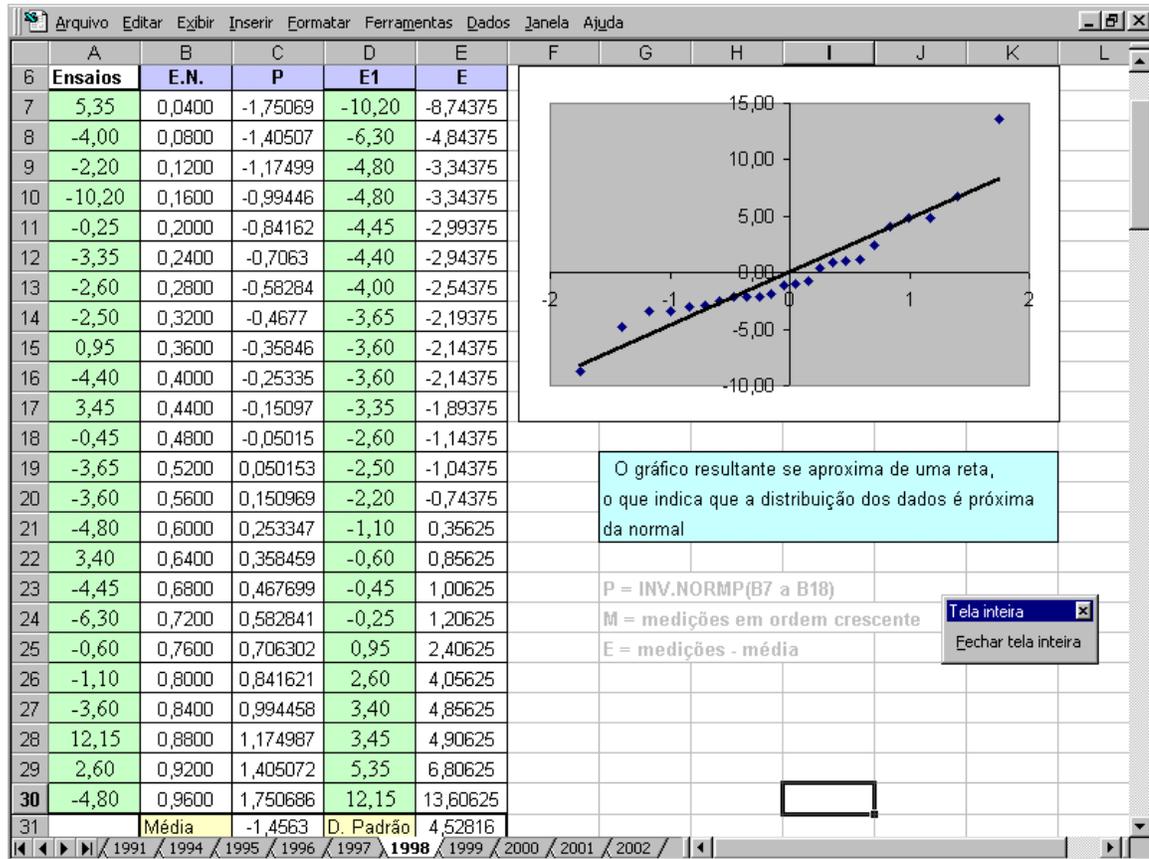


Figura 37 – Planilha para teste de normalidade

Verificou-se, que em praticamente todos gráficos (probabilidade x erros aleatórios) existem dados fora de uma tendência linear, isto porque os testes foram realizados antes da aplicação do critério para exclusão de dados discrepantes de Chauvenet.

Para o ano de 1994 não foi feito o teste pois este possuía poucos dados amostrais e com certeza não se comportaram como uma distribuição normal.