

Totalização Volumétrica Indireta de Água Bruta por Combinação Horímetro/Ultra-Som

Luiz Celso Braga Pinto

Grypho Engenharia – CE - kryok@yahoo.com

Ana I. B. Genovez

FEC-UNICAMP- Campinas – SP bgenovez@fec.unicamp.br

Recebido: 09/07/04 revisado: 12/07/05 aceito: 07/10/05

RESUMO

A necessidade de mensuração dos volumes de água bruta captados de fontes hídricas e o lançamento de efluentes são motivos de preocupação imediata, pois tanto o mercado como as instituições nacionais envolvidas no assunto ainda não estão apropriadamente preparadas para tal função. Segundo Pinto (2003), pelo lado da captação de água bruta, a grande maioria dos medidores e técnicas encontradas no Brasil para a mensuração de vazões e volumes em condutos forçados são especificados para a utilização com água tratada e não se adequam à medição de água bruta. O objetivo deste trabalho é fornecer subsídios para se facilitar e possibilitar a mensuração de volumes e vazões de forma mais econômica e com um nível adequado de precisão, para ser utilizado principalmente pelas agências e comitês de gestão de recursos hídricos. Desta forma foi feito um estudo em campo e laboratório para testar o uso de horímetro em linhas de recalque, com aferição por ultra-som. Os resultados, em sistemas sem filtros na linha de adução, indicaram um desvio de precisão global da ordem de $\pm 3,9\%$. A utilização de horímetros, portanto, se mostra como uma solução viável tecnicamente e economicamente, visto seu baixo custo de implantação e precisão proporcionada.

Palavras Chave: *vazão; volume; ultra-som; horímetro; medição indireta.*

INTRODUÇÃO

A criação da Agência Nacional de Águas – ANA em junho de 2000, fato este considerado um grande avanço para a consolidação da gestão dos recursos hídricos no Brasil, juntamente com as conferências mundiais da água de Marrakesh (Marrocos), em 1997, Haia (Holanda), em 2000 e Kyoto (Japão), em março de 2003, criaram uma demanda por ferramentas de gestão de águas que se tornou uma necessidade imediata. (fonte: www.ana.gov.br-2003). A criação da ANA visa, prioritariamente, a gestão de forma organizada, racional e integrada.

Para o controle e cobrança dos recursos hídricos, que gerarão verbas para a manutenção da agência e ações de benfeitoria nas bacias hidrográficas que pagam pelo uso da água, é impreterível que os volumes de água envolvidos sejam mensurados, seja por motivos de gestão, seja objetivando a cobrança propriamente dita. A

necessidade de mensuração dos volumes de água bruta captados de fontes hídricas e o do lançamento de efluentes nas mesmas são motivos de preocupação imediata. Isto porque tanto o mercado como as instituições nacionais envolvidas no assunto ainda não estão apropriadamente preparadas para tal função. Cabe lembrar que não se trata de uma necessidade apenas nacional, mas também uma preocupação mundial.

Pelo lado da captação, a grande maioria dos medidores e técnicas encontradas no Brasil para a mensuração de vazões e volumes são especificados para a utilização com água tratada e não se adequam à medição de água bruta. O mercado brasileiro seguiu a demanda dos medidores das companhias de saneamento, que sempre se preocuparam em realizar a cobrança para os consumidores finais, seja residencial, comercial ou industrial.

Com a crescente importância dada ao conhecimento dos volumes captados e lançados, até mesmo para a realização de balanço de demanda

bioquímica de oxigênio e outros aspectos qualitativos do recurso hídrico, torna-se imprescindível a adequação dos fabricantes de medidores, institutos de pesquisa e associações para que sejam criadas ferramentas que auxiliem o controle quantitativo e qualitativo dos recursos hídricos.

O mercado nacional (fabricantes e fornecedores) de macromedidores ainda não está devidamente preparado para atender à demanda crescente de medidores de água bruta, visto que este crescimento se dará nos próximos anos, quando do início da cobrança pelo uso da água bruta nas diversas bacias hidrográficas. A grande maioria dos macromedidores encontrada no mercado atualmente, não atende às necessidades do setor de gestão, pois são elaborados para a utilização com água tratada ou em fluidos com baixíssimo índice de sólidos em suspensão. As principais exceções são os medidores dos tipos eletromagnéticos e ultra-sônicos, mas têm como inconveniente o alto custo para aquisição. Este trabalho tem por objetivo fornecer subsídios para se facilitar e possibilitar a mensuração de volumes e vazões de água bruta de forma mais econômica e com um nível adequado de precisão, para ser utilizado principalmente pelas agências e comitês de gestão de recursos hídricos. Para atingir este objetivo será feito um estudo experimental utilizando um equipamento de alto custo e moderno, como é o medidor por ultra-som, associado ao uso de um equipamento de baixo custo, como é o horímetro.

EXPERIÊNCIAS EXISTENTES NA MEDIÇÃO DE VAZÕES E VOLUMES DE ÁGUA BRUTA

A Experiência do Ceará

O Estado do Ceará conta atualmente com aproximadamente 400 sistemas de medição com horímetros aferidos por medidor ultra-sônico operando em propriedades rurais para o monitoramento de irrigantes que têm rios como fonte hídrica e outros 200 sistemas com poços como fonte hídrica.

A cobrança iniciou-se com o valor de R\$ 0,01/m³ (fonte: COGERH - 2003), em um ano com atividades emergenciais devido à seca. Atualmente está sendo realizado um estudo mais detalhado que atenda aos investimentos realizados e à capacidade de pagamento dos usuários do semi-árido. Projeta-se uma taxa em torno de R\$ 0,005/m³, mas ainda não

foi definida. Tal taxa viabilizaria a manutenção do sistema, o pagamento da mão de obra empregada e o restante se reverteria em benfeitorias na própria bacia hidrográfica.

A instalação do horímetro nas bombas (em caixas de proteção de alumínio devidamente lacradas para garantir a inviolabilidade do sistema) e a aferição do sistema, leva em torno de 1 hora e não necessariamente é preciso paralisar o bombeamento. As caixas de proteção dos horímetros são instaladas, preferencialmente, diretamente nas bombas, de forma que qualquer mobilização ou modificação destas seja evidenciada pela quebra do lacre de segurança. Não se inibe ao usuário a quebra dos lacres, desde que esta seja justificada (manutenção, defeito, mobilização, etc.). A potência das bombas dos usuários monitoradas varia de 2CV a 1000CV e as captações não seguem uma padronização no que diz respeito às suas formas de instalação e, em muitos casos, são encontrados sistemas totalmente fora dos padrões hidráulicos e elétricos convencionais, no que diz respeito à sucção, instalações elétricas, pré-filtragem, cavitação, vibração, entre outros.

A Experiência de Nebraska

O Twin Platte Natural Resources District - TPNRD do estado de Nebraska, Estados Unidos, também utiliza a combinação horímetros / aferição ultra-sônica. Neste caso, é utilizado para a mensuração de volumes de água bruta de usuários rurais, como uma forma econômica de estimar volumes captados desde o ano 2000. Desta forma, a data de origem das experiências do Ceará e de Nebraska se confunde. (fonte: Newsletter of The Twin Platte Natural Resources District Vol. 10 – 2000)

Mas as semelhanças com a experiência cearense terminam por aí. O objetivo do TPNRD é prestar tais serviços com o objetivo de orientar agricultores ao manejo adequado para irrigação, não visando o monitoramento, gestão ou cobrança dos recursos hídricos, não tendo, portanto, a mesma necessidade de se conhecer melhor as incertezas da medição.

O usuário deve instalar o horímetro em seu sistema de recalque e solicita os serviços de aferição de vazão do TPNRD. A aferição é feita com medidor ultra-sônico portátil com transdutores não intrusivos cedido pelo Nebraska Department of Environmental Quality e cobra uma taxa de US\$50 por ponto de aferição. As condições técnicas mínimas necessárias

para os serviços de aferição seguem os princípios básicos para a operação de medidores ultra-sônicos, a saber: linha 100% cheia, livre de presença de bolsas de ar e local para instalação num trecho reto de tubulação sem interferências próximas.

EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Ultra-Som

Os medidores ultra-sônicos de vazões foram concebidos no final da década de 50 e início da década de 60 e apesar de amplamente utilizados no exterior, sua projeção no mercado nacional ainda pode ser considerada tímida, devida principalmente ao seu alto custo de aquisição (fonte: <http://www.ndt-ed.org>). Uma solução para atenuar o investimento seria a fabricação destes equipamentos no Brasil, o que motivaria a sua utilização, mas vários fatores influenciam tal iniciativa, como necessidade de desenvolvimento ou transferência tecnológica, assim como apoio dos organismos envolvidos, como por exemplo, da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

A ABNT vem já há cinco anos participando da comissão para a criação das normas para a utilização de medidores ultra-sônicos a partir das normas ISO (International Organization for Standardization). É de extrema importância que isso ocorra para que as indústrias e fabricantes de medidores possam investir no desenvolvimento deste tipo de medidor, pois é difícil se aplicar recursos em um equipamento que não pode ser homologado por falta de normas nacionais.

O medidor ultra-sônico pode ser de dois tipos: Doppler e Tempo de Trânsito (Transit Time). Os do tipo Doppler foram desenvolvidos principalmente para medição de fluidos com alto nível de impurezas e sólidos em suspensão, não sendo recomendados para água tratada ou bruta com baixos índices de sólidos em suspensão (Brand, 1987). Podem também ser portáteis (o que facilita as aferições de vazões sob diversas condições) ou fixos (Figura 1).

Os medidores que utilizam o princípio Tempo de Trânsito têm maior precisão em relação aos Doppler e podem ser empregados em praticamente todos os tipos de água bruta, com desvio de precisão típica de $\pm 1\%$ e de no máximo $\pm 2\%$. Por estes motivos foram selecionados para serem retratados aqui de forma mais intensa. (fonte:

www.panametrics.com). Kohno et al (1984) sugerem a utilização de medidores dotados de diagnóstico, como potência do sinal, por exemplo, para se conseguir maior segurança nas medições.



A – Medidor Portátil B – Medidor Fixo

Figura 1 – Medidor ultra-som portátil e fixo

No princípio de funcionamento no modo tempo de trânsito a velocidade do fluido é determinada utilizando o diferencial de tempo de viagem. Um pulso de som viajando diagonalmente através do fluxo na direção do transdutor de jusante(B) é mais rápido que um pulso na direção do transdutor de montante(A). (Figura 2)

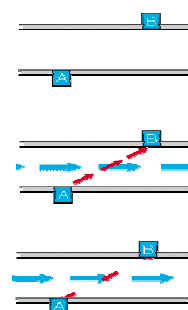


Figura 2 – Princípio de operação por tempo de trânsito

Na opção tempo de trânsito, o medidor pode operar com transdutores não intrusivos, sendo possível operar em diâmetros de 0,5 polegada a 200 polegadas e tubos em qualquer tipo de metal, a maioria dos plásticos, borracha, vidro e cimento, que o evidencia pela versatilidade de operação (Belock e McDonald, 2002). O custo aproximado no Brasil de um medidor do tipo ultra-sônico portátil, princípio tempo de trânsito, é da ordem de US\$13.000,00. O custo operacional é praticamente insignificante, necessitando apenas de gel (geralmente graxa de silicone) de alto vácuo para

fixação dos transdutores. Um tubo de 200g garante a utilização em aproximadamente 100 campanhas de aferição e tem o custo em torno de US\$80.

Horímetro

O horímetro tecnicamente não passa de um cronômetro adaptado para medir o tempo de funcionamento de determinados equipamentos ou alimentação elétrica. A invenção do horímetro se confunde com a invenção do wattímetro e o medidor de ampère-hora, tendo como maiores diferenças simplesmente a escala e unidade de apresentação.



Figura 3 – Horímetros mecânicos e digitais

Os horímetros atuais pouco diferem dos primeiros desenvolvidos, a não ser por seu tamanho e precisão, devido ao desenvolvimento de materiais mais leves e confiáveis. Alguns passaram a ser digitais e/ou com circuito de controle por cristal de quartzo (Paul Davis Automation, 2003 e Turotest, 2003).

A precisão dos horímetros varia muito, desde desvios de $\pm 0,003\%$ (± 15 minutos por ano) a $\pm 0,1\%$ nos que utilizam cristal de quartzo, a valores entre $\pm 0,5\%$ a $\pm 2\%$ nos mecânicos sem quartzo, segundo os fabricantes. A alimentação varia de 6 a 48Vcc e 90 a 380Vca, com frequências de 50 ou 60Hz. Como é um equipamento que atualmente não exige alta tecnologia para sua fabricação, além de ser produzido em larga escala em todo o mundo, pode ser considerado um equipamento de custo relativamente baixo, variando de US\$8 a US\$80, de acordo com sua precisão, fabricante, acabamento, entre outros. A maioria dos mecânicos a quartz oscila na faixa dos US\$15.

MATERIAL E MÉTODO

Para se obter dados confiáveis para a utilização de horímetros, concentraram-se os estudos em campo e laboratório, gerando dados para confrontações e conclusões. Nas duas situações foi utilizado medidor ultra-sônico devidamente calibrado em laboratório credenciado pelo Inmetro e rastreado pela RBC – Rede Brasileira de Calibração, de forma a se evitar distorções possivelmente ocasionadas pela alternância entre medidores distintos.

Para este trabalho foram utilizados os dados do Perímetro de Irrigação do DIJA (Distrito de Irrigação Jaguaribe Apodi), em Limoeiro do Norte – Ceará, devido às instalações disponíveis, ao tempo exigido para a aferição, à proximidade das instalações e ao deslocamento da equipe de trabalho para efetuar as medições.

Foram instalados cerca de 300 horímetros em bombas de usuários (irrigação) localizados no Rio Jaguaribe, a jusante do Açude Orós. Deste total, cerca de 75 instalações, dentro do DIJA, por serem mais estáveis, foram adotadas como universo para este trabalho. Isto se deve a que fora do perímetro de irrigação os sistemas de irrigação são alterados normalmente, em razão da substituição de culturas. Posteriormente foram realizadas novas campanhas de aferição, instalando novamente o medidor ultra-sônico em algumas instalações de campo dotadas de horímetro (Figura 4). Essas instalações tinham sido aferidas pelo mesmo tipo de medidor há mais de um ano, desta forma procurou-se obter dados de comparação.



Figura 4 - Instalação típica de horímetros em bombas

A primeira série de dados foi coletada em novembro de 2001 e em fevereiro de 2002 (Tabela 1).

Tabela 1 – Primeira Série de Dados de Campo

Ficha	No. da Bomba utilizada no local	Diâmetro do Tubo (mm)	Potência da Bomba (CV)	Vazão da Bomba (m ³ /h)
1	1	77	7,5	31,0
2	1	204	75,0	287,0
3	2	204	75,0	252,0
4	1	62	7,5	21,5
5	1	521	175,0	570,0
6	2	521	175,0	540,0
7	3	521	100,0	300,0
8	4	521	100,0	300,0
9	5	521	100,0	300,0
10	1	169	7,5	37,4
11	1	114	20,0	76,5
12	2	61	7,5	56,0
13	3	50	2,0	12,0
14	1	223	50,0	128,0
15	2	80	5,0	18,0
16	1	261	75,0	241,0
17	2	261	75,0	253,0
18	3	370	200,0	450,0
19	4	261	75,0	243,0
20	1	263	75,0	263,0
21	2	154	25,0	69,0
22	3	154	25,0	72,0
23	4	263	75,0	263,0
24	1	264	75,0	274,0
25	2	264	75,0	267,0
26	3	264	75,0	261,0
27	1	266	75,0	262,0
28	2	266	75,0	282,0
29	3	266	75,0	269,0
30	1	266	75,0	251,0
31	2	369	200,0	527,0
32	1	266	75,0	271,0
33	2	266	75,0	271,0
34	1	370	-	-
35	2	266	-	-
36	1	153	75,0	261,0
37	2	153	25,0	80,0
38	3	153	25,0	100,0
39	1	261	40,0	170,0
40	2	261	40,0	170,0
41	3	370	200,0	475,0
42	4	357	75,0	250,0
43	1	261	75,0	240,0
44	2	261	75,0	270,0
45	3	261	75,0	250,0
46	1	169	30,0	130,0

Ficha	No. da Bomba utilizada no local	Diâmetro do Tubo (mm)	Potência da Bomba (CV)	Vazão da Bomba (m ³ /h)
47	2	169	40,0	106,0
48	3	169	30,0	130,0
49	4	169	40,0	186,0
50	5	169	30,0	130,0
51	6	169	40,0	185,0
52	7	169	40,0	180,0
53	8	169	40,0	147,0
54	9	169	10,0	45,0
55	10	50	2,0	10,0
56	1	153	50,0	138,0
57	2	153	50,0	122,0
58	1	153	50,0	149,0
59	2	153	50,0	108,0
60	1	261	75,0	273,0
61	2	261	75,0	276,0
62	3	261	75,0	274,0
63	1	261	75,0	252,0
64	2	261	75,0	252,0
65	3	357	100,0	578,0
66	4	357	100,0	578,0
67	1	-	175,0	588,0
68	2	-	30,0	129,0
69	3	-	175,0	590,0
70	1	203	60,0	255,0
71	2	255	75,0	240,0
72	3	203	75,0	240,0
73	4	89	7,5	9,0
74	1	133	25,0	83,0
75	2	103	10,0	13,5
76	1	76	7,5	25,0
77	1	76	7,5	42,0
78	1	76	10,0	45,0
79	1	76	3,0	10,0
80	1	76	2,0	29,0
81	1	76	2,0	25,0
82	1	60	2,0	5,9
83	1	60	2,0	5,9
84	1		25,0	80,0
85	2	60	2,0	5,9
86	1	76	2,0	10,0
87	1	100	10,0	46,5
88	2	100	12,0	63,0
89	3	76	2,0	10,0
90	1	117	20,0	60,0
91	2	89	10,0	36,0
92	3	61	7,5	30,0
93	4	90	10,0	37,3
94	1	76	2,0	14,0

Ficha	No. da Bomba utilizada no local	Diâmetro do Tubo (mm)	Potência da Bomba (CV)	Vazão da Bomba (m ³ /h)
95	1	60	7,5	30,0
96	1	76	7,5	20,0
97	1	114	25,0	62,0

A segunda série de dados de campo foi levantada em maio de 2003 (Tabela 2).

Para a análise do sistema de medição indireta por horímetros, foi construída uma bancada de ensaios com um circuito fechado de recirculação de água de pequenas dimensões, composto por: bomba com potência de 0,5 CV, tubulação e conexões PVC DN 1,5" e 3" com válvulas DN 3", reservatório em PVC transparente com capacidade de 20 litros. Foi empregado horímetro Quartzo com precisão $\pm 0,005\%$, medidor de vazão ultra-sônico com precisão de $\pm 1\%$ e medidor de vazão tipo turbina de inserção com precisão de $\pm 2\%$. O esquema de instalação do circuito fechado para os ensaios é apresentado na Figura 5.

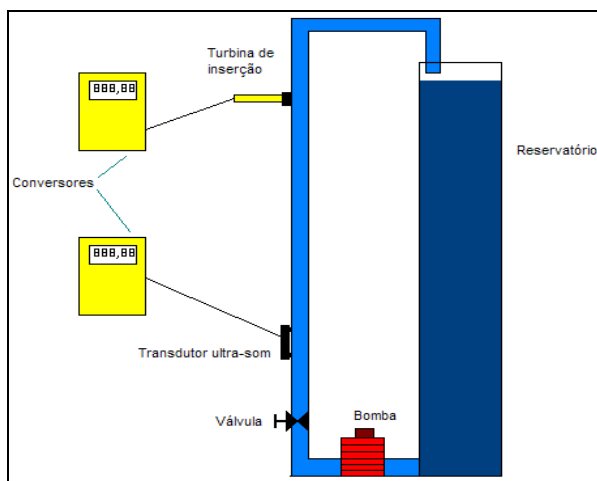


Figura 5 – Esquema do ensaio em laboratório

A Figura 6 apresenta uma foto do circuito fechado de ensaios em laboratório. O horímetro foi ligado diretamente ao cabo de alimentação energética da bomba de forma que, toda vez que o sistema fosse ligado, o mesmo se acionasse automaticamente. Na linha de recalque foi instalada uma válvula tipo esfera de fecho rápido para que fosse possível executar os ensaios com diversas faixas de vazões.

A aferição do sistema foi realizada com medidor ultra-sônico. De posse dos dados de

aferição, efetivou-se a operação do sistema com acionamento simultâneo da bomba, horímetro e totalizador de volumes do medidor tipo turbina de inserção e ultra-sônico, por 24 horas.

Tabela 2 – Segunda Série de Dados de Campo

Ficha	No. da Bomba utilizada no local	Diâmetro do Tubo (mm)	Potência da Bomba (CV)	Vazão da Bomba (m ³ /h)
4	1	62	7,5	27
14	1	223	50	126
15	2	80	5	17,5
16	1	261	75	225
17	2	261	75	224
18	3	370	200	451
19	4	261	75	229
20	1	263	75	258
22	3	154	25	73
23	4	263	75	261
27	1	266	75	255
28	2	266	75	272
29	3	266	75	258
36	1	153	75	258
37	2	153	25	78
38	3	153	25	96
49	4	169	40	82
50	5	169	30	118
51	6	169	40	51
52	7	169	40	130
53	8	169	40	61
54	9	169	10	42
55	10	50	2	9,8
56	1	153	50	142
57	2	153	50	124
58	1	153	50	179
59	2	153	50	167
67	1	522	175	603
68	2	522	30	125
69	3	522	175	603
87	1	100	10	46
88	2	100	12	50
90	1	117	20	55
91	2	89	10	34
92	3	61	7,5	29
93	4	90	10	34



Figura 6 – Foto do circuito fechado de ensaios

Outra bancada foi montada para análise da precisão dos horímetros. Os horímetros, da mesma procedência, foram dispostos lado a lado e ligados à mesma fonte de alimentação elétrica, conforme ilustrado na Figura 7.



Figura 7 – Esquema da instalação de ensaio dos horímetros

Neste caso foi realizada a leitura inicial de cada um dos horímetros (total de 10 unidades) e ativada sua energização simultaneamente ao disparo de um cronômetro digital, com precisão $\pm 0,005\%$. Após 168 horas, foi realizada nova leitura nos horímetros.

RESULTADOS E ANÁLISE

Ensaio em campo e laboratório

A Tabela 3 apresenta o comparativo entre as vazões obtidas empregando o medidor ultra-som e o medidor tipo turbina de inserção, operados em linha na instalação de ensaios. Verificou-se uma variação quase insignificante em relação ao desvio

padrão, o que demonstra que em laboratório as condições se aproximam das ideais e os dois equipamentos apresentam a vazão efetiva.

Tabela 3 – Ensaio do Circuito Fechado

Relógio Interno do Ultra-Som (h)	Vazão Ultra-som (m^3/h)	Vazão Turbina de Inserção (m^3/h)
1	1,51	1,53
2	1,52	1,56
3	1,52	1,58
4	1,53	1,49
5	1,52	1,58
6	1,53	1,53
7	1,54	1,54
8	1,53	1,57
9	1,53	1,58
10	1,52	1,55
11	1,53	1,54
12	1,54	1,57
13	1,54	1,51
14	1,53	1,50
15	1,54	1,52
16	1,53	1,49
17	1,53	1,57
18	1,52	1,56
19	1,53	1,55
20	1,54	1,5
21	1,53	1,53
22	1,54	1,48
23	1,54	1,58
24	1,54	1,57
Média:	1,530	1,541
Desvio Padrão:	0,009	0,033

A seguir, foram coletados os dados do ensaio com horímetros para avaliar o seu funcionamento. Os resultados mostraram que os desvios em relação ao padrão são de pequena ordem.

De acordo com a metodologia descrita no Item 4, foram realizados os ensaios em campo nas instalações definidas preliminarmente. Na Tabela 4 são confrontados os resultados obtidos através das aferições realizadas na primeira e segunda campanha de campo, lembrando que foram realizadas com um intervalo de aproximadamente 1 ano e 4 meses. A Figura 8 mostra a instalação dos equipamentos nas aferições realizadas em campo.

**A****B****C****Figura 8 - Aferição ultra-sônica no sistema de recalque**

Para poder realizar uma correta análise dos resultados obtidos, os dados referentes às aferições em campo foram separados em dois grupos. Num grupo foram consideradas as instalações em bombas com filtro a jusante (micro-aspersão ou gotejamento). Num segundo grupo em bombas para pivôs de irrigação, que correspondem a bombas sem filtro.

Tabela 4 – Resultados das campanhas de aferição no campo

Ficha	No. da Bomba	Potência da Bomba (CV)	Vazão 1 da Bomba (m ³ /h)	Vazão 2 da Bomba (m ³ /h)	Diferença entre Q ₁ e Q ₂ (%)
4	1	7,5	21,5	27	25,58
14	1	50	128	126	-1,56
15	2	5	18	17,5	-2,78
16	1	75	241	225	-6,64
17	2	75	253	224	-11,46
18	3	200	450	451	0,22
19	4	75	243	229	-5,76
20	1	75	263	258	-1,90
22	3	25	72	73	1,39
23	4	75	263	261	-0,76
27	1	75	262	255	-2,67
28	2	75	282	272	-3,55
29	3	75	269	258	-4,09
36	1	75	261	258	-1,15
37	2	25	80	78	-2,50
38	3	25	100	96	-4,00
49	4	40	186	82	-55,91
50	5	30	130	118	-9,23
51	6	40	185	51	-72,43
52	7	40	180	130	-27,78
53	8	40	147	61	-58,50
54	9	10	45	42	-6,67
55	10	2	10	9,8	-2,00
56	1	50	138	142	2,90
57	2	50	122	124	1,64
58	1	50	149	179	20,13
59	2	50	108	167	54,63
67	1	175	588	603	2,55
68	2	30	129	125	-3,10
69	3	175	590	603	2,20
87	1	10	46,5	46	-1,08
88	2	12	63	50	-20,63
90	1	20	60	55	-8,33
91	2	10	36	34	-5,56
92	3	7,5	30	29	-3,33
93	4	10	37,3	34	-8,85

Nota: Q₁ = Vazão referente à aferição realizada em 11/2001 e 02/2002 (Primeira série de dados);

Q₂ = Vazão referente à aferição realizada em 05/ 2003 (Segunda série de dados)

Tabela 5 - Comparativo entre as duas séries de aferições em campo (com filtro)

Ficha	No. da Bomba	Vazão 1 da Bomba (m ³ /h)	Vazão 2 da Bomba (m ³ /h)	Diferença entre Q ₁ e Q ₂ (%)
4	1	21,5	27	25,58
14	1	128	126	-1,56
15	2	18	17,5	-2,78
49	4	186	82	-55,91
50	5	130	118	-9,23
51	6	185	51	-72,43
52	7	180	130	-27,78
53	8	147	61	-58,50
54	9	45	42	-6,67
55	10	10	9,8	-2,00
56	1	138	142	2,90
57	2	122	124	1,64
58	1	149	179	20,13
59	2	108	167	54,63
87	1	46,5	46	-1,08
88	2	63	50	-20,63
90	1	60	55	-8,33
91	2	36	34	-5,56
92	3	30	29	-3,33

Na Tabela 5, com filtro em linha, nota-se claramente uma grande desigualdade de resultados entre as campanhas, chegando a diferenças de até -72,43%. Analisando esta situação, pode ser constatado que isso se deu pela falta de limpeza e manutenção dos filtros, que ocasionou uma elevada perda de carga na tubulação e conseqüente redução da vazão.

Na Tabela 6, sem filtro em linha, as diferenças percentuais chegam a -11,46 no máximo. Nota-se a diferença entre os valores da vazão obtida relativos aos sistemas com filtro e sem filtro. Desta forma se justifica então uma análise individual de cada grupo de dados, assim como o cálculo de suas incertezas.

A intenção inicial era de se realizar as aferições de todos os pontos inicialmente aferidos na primeira série e dotados de horímetros. Mas, constatou-se que algumas bombas foram substituídas e outras simplesmente retiradas, o que não permitiu que o universo de dados fosse mais amplo. Nota-se uma grande variação entre os resultados relativos às bombas de sistemas que contam com filtros. A falta

de manutenção destes ocasiona perda de carga elevada na linha, prejudicando a performance das bombas.

Tabela 6 - Comparativo entre as duas séries de aferições em campo (sem filtro)

Ficha	No. da Bomba	Vazão 1 da Bomba (m ³ /h)	Vazão 2 da Bomba (m ³ /h)	Diferença entre Q ₁ e Q ₂ (%)
16	1	241	225	-6,64
17	2	253	224	-11,46
18	3	450	451	0,22
19	4	243	229	-5,76
20	1	263	258	-1,90
22	3	72	73	1,39
23	4	263	261	-0,76
27	1	262	255	-2,67
28	2	282	272	-3,55
29	3	269	258	-4,09
36	1	261	258	-1,15
37	2	80	78	-2,50
38	3	100	96	-4,00
67	1	588	603	2,55
68	2	129	125	-3,10
69	3	590	603	2,20
93	4	37,3	34	-8,85

É importante sempre se levar em conta a experiência do operador do medidor ultra-som, porque uma medida ou fixação de transdutores realizada de forma errada pode alterar significativamente os resultados finais. Procurou-se sempre realizar as campanhas de modo que os dados de programação do medidor e as leituras das régua fossem revisados criteriosamente.

O intervalo de aproximadamente 1 ano e quatro meses entre a primeira e a segunda série de levantamento de dados de campo em conjunto com a grande variação de vazões verificada em alguns casos, como o da ficha 17, com -11,46%, reforça a tese de que as campanhas de aferição têm de ter uma periodicidade de aproximadamente um ano para que os resultados obtidos em relação à incerteza se confirmem. Cabe lembrar que a realização de novos ensaios poderia dar mais precisão a esta avaliação de periodicidade.

Análise de Incertezas e Precisão dos Instrumentos e do Conjunto

Segundo Allen (1975) e Solazzo (2003), há uma quantidade significativa de informações que necessita ser revista antes que se possa mensurar corretamente a precisão de um equipamento.

Uma das formas mais simples e mais utilizadas para se obter a precisão de um equipamento ou medida é através do cálculo do desvio padrão, aonde se assume a incerteza da medida como sendo o próprio valor do desvio padrão. A média, o desvio padrão e o coeficiente de variação $((\text{desvio padrão}/\text{média}) \times 100)$ são calculados então para o universo de valores que se apresenta. Tal técnica será utilizada neste trabalho para definir o grau de precisão das medições e equipamentos.

O medidor ultra-som utilizado para os ensaios apresenta, segundo o fabricante, o desvio de precisão de $\pm 1\%$ com a configuração e transdutores adotados. Segundo Sanderson e Yeung (2002), a incerteza de uma medição ultra-sônica pode variar de $\pm 1\%$ a $\pm 5\%$ da leitura, dependendo da experiência do operador, condições da tubulação e do escoamento. Com estes fatores em boas condições, pode-se obter incertezas de $\pm 0,5\%$ a $\pm 2\%$ da leitura.

Os horímetros utilizados para os ensaios assim como os que estão instalados em campo, apresentam desvio de precisão da ordem de $\pm 0,005\%$, segundo o fabricante.

A Tabela 7 apresenta a incerteza das leituras dos horímetros em relação a um cronômetro tido como padrão. Neste caso são as incertezas relativas a cronômetro digital com leitura de 168 horas.

Tabela 7 – Incerteza nas leituras dos horímetros

Horímetro	Leitura Final(horas)	Incerteza(%)
1	167,99	0,006
2	168,01	-0,006
3	168,01	-0,006
4	168,00	0,000
5	168,01	-0,006
6	167,99	0,006
7	168,00	0,000
8	168,03	-0,018
9	168,00	0,000
10	168,02	-0,012

Desvio padrão de 1 a 10 = incerteza = $\pm 0,0075\%$,

De acordo com o apresentado pode ser constatado que o desvio de precisão obtido nos testes não confere com a precisão indicada pelo fabricante, de $\pm 0,005\%$.

Para o cálculo da precisão do conjunto composto por horímetro/ultra-som, foi utilizada a mesma metodologia de Allen. Desta forma, os valores obtidos para o conjunto de dados levantados em campo podem ser vistos na Tabela 8. Nesta tabela encontram-se os valores característicos.

Tabela 8 – Análise dos resultados de todas as aferições

Média	-6,14
Maior valor	54,63
Menor valor	-72,43
Amplitude	127,06
Desvio padrão	21,59

Já na Tabela 9 encontram-se os resultados considerando apenas os sistemas com filtro a jusante do ponto de medição (no caso dos sistemas para micro-aspersão ou gotejamento).

Tabela 9 - Análise dos resultados para sistemas com filtro

Média	-8,99
Maior valor	54,63
Menor valor	-72,43
Amplitude	127,06
Desvio padrão	30,01

Levando-se em conta apenas as bombas para pivôs de irrigação, sem filtro, tem-se os resultados apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Análise dos resultados para sistemas sem filtro

Média	-2,95
Maior valor	2,55
Menor valor	-11,46
Amplitude	14,01
Desvio padrão	3,76

Com os resultados apresentados nas Tabelas 8, 9 e 10 pode-se calcular o desvio de precisão do conjunto através da fórmula (1):

$$E = \sqrt{(em^2) + (eb^2) + (el^2)} \quad (1)$$

Onde:

E = Incerteza total

em = Incerteza do medidor ultra-som

eh = Incerteza do horímetro (ver Tabela 7)

et = Incerteza relativa à variação entre as

vazões obtidas nas duas campanhas (ver Tabelas 8 a 10)

Assim, foi calculada a incerteza para o conjunto total de dados e apresentado na equação (2):

$$E = \sqrt{(1^2) + (0,0075^2) + (21,59^2)} = \pm 21,62\% \quad (2)$$

Para os sistemas de bombas com filtro obteve-se o resultado apresentado na equação (3):

$$E = \sqrt{(1^2) + (0,0075^2) + (30,01^2)} = \pm 30,03\% \quad (3)$$

Para os sistemas de bombas sem filtro, o resultado está indicado na equação (4):

$$E = \sqrt{(1^2) + (0,0075^2) + (3,76^2)} = \pm 3,89\% \quad (4)$$

Mesmo com um conjunto de dados relativamente reduzido, pode-se considerar de grande valia os resultados obtidos em campo e em laboratório. Em se tratando de sistemas sem filtros na linha de adução, os resultados são ainda melhores, com um desvio de precisão global da ordem de $\pm 3,9\%$.

Com a metodologia adotada para o conjunto em campo, procedeu-se o cálculo do desvio de precisão do conjunto horímetro/ultra-som (em laboratório) que é expresso na equação (5):

$$E = \sqrt{(em^2) + (eb^2) + (ex^2)} \quad (5)$$

Em que:

E_1 = Incerteza total com ultra-som

E_2 = Incerteza total com turbina de inserção

ex_1 = Incerteza relativa à variação de vazões

do medidor ultra-som (ver Tabela 3)

ex_2 = Incerteza relativa à variação de vazões

do medidor turbina de inserção (ver Tabela 3)

Assim, foram calculadas as incertezas com a utilização do medidor ultra-som, equação (6) e com o medidor tipo turbina de inserção, equação (7):

$$E_1 = \sqrt{(1^2) + (0,0075^2) + (0,009^2)} = \pm 1,000\% \quad (6)$$

$$E_2 = \sqrt{(1^2) + (0,0075^2) + (0,033^2)} = \pm 1,001\% \quad (7)$$

Em relação ao laboratório, as incertezas foram mínimas, principalmente pelo fato de que as distorções em relação a manobras no sistema e desgaste natural das bombas praticamente não existem. Isto contribuiu para se obter um desvio de precisão da ordem de $\pm 1,000\%$ relativo ao medidor ultra-som e $\pm 1,001\%$ relativo ao medidor tipo turbina de inserção.

Segundo Hershy (2002), as novas recomendações internacionais que envolvem o cálculo de incertezas indicam que a confiabilidade dos instrumentos para gerenciamento de recursos hídricos em geral não deve ser inferior a 95%, ou seja, desvio de precisão de no máximo $\pm 5\%$. Dessa forma, enquadraram-se os dados de campo com sistemas sem filtro e os dados de laboratório.

Análise Econômica Comparativa do Conjunto Horímetro/Ultra-Som

Para poder justificar o uso desta opção de medição de vazão com o conjunto horímetro/ultra-som foi feita uma análise comparativa de custos em relação a outras opções de equipamentos. Desta forma, foi selecionado um diâmetro nominal de 200mm, a partir do qual se levantaram os custos em relação a diversos tipos de medidores, que estão especificados na Tabela 11.

Tabela 11 – Custos dos equipamentos DN 200 (em US\$)

Ultra-Som	13.000
Pitot Eletrônico	4.200
Eletromagnético	2.900
Pressão Diferencial com transdutores de pressão	2.100
Turbina de Inserção	1.900
Woltman com filtro*	1.600
Horímetro / Aferição ultra-sônica	150

* acessório necessário para utilização em água bruta

Nota-se claramente a vantagem da solução horímetro/aferição ultra-sônica em relação aos principais medidores utilizados para mensurar água bruta.

CONCLUSÕES

Um fator que leva à utilização de soluções econômicas para se mensurar a água captada, principalmente em se tratando de irrigação, é o fato de que existe uma tendência natural de que o valor da água para este fim seja mais baixo. Isso impediria em muitos casos a própria mensuração da água, visto que o medidor convencional pode assumir valores mais elevados do que as tarifas aplicadas em longo prazo. Ou seja, em determinadas situações o medidor só se pagaria após muito tempo, o que não viabiliza sua aquisição. A solução aqui apresentada é de baixíssimo custo, quando comparada às outras técnicas e equipamentos utilizados atualmente.

Mesmo com a precisão prejudicada nos sistemas dotados de filtros, a possibilidade de utilização do conjunto ultra-som/horímetro é viável, desde que se dê atenção especial à limpeza dos mesmos. Tal medida também auxiliaria a economia de energia elétrica. Pode-se considerar de grande valia os resultados obtidos em campo e em laboratório, e em se tratando de sistemas sem filtros na linha de adução, os resultados indicaram um desvio de precisão global da ordem de $\pm 3,9\%$. A utilização de horímetros, portanto, se mostra como uma solução viável tecnicamente e economicamente, visto seu baixo custo de implantação e precisão proporcionada. Desta forma, conclui-se que a proposta de utilização de medidor ultra-som associado com horímetro é apropriada.

Sugere-se que o estudo aqui apresentado seja utilizado como uma alternativa geral, prática, econômica e com um grau de precisão satisfatório para ser utilizada na mensuração de água bruta para todos os usos, assim como de abrangência científica e a nível internacional, visto que a gestão dos recursos hídricos, principalmente em sua forma bruta, é tida como uma demanda mundial, onde tais recursos são a cada momento mais escassos. Também se sugere fazer estudos utilizando outras variáveis como, por exemplo, considerando a pressão disponível na bomba, com equipamentos de outros fabricantes e ampliar o universo de dados coletados e analisados.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA; Títulos Diversos. Disponível: <http://www.ana.gov.br/>. Acesso: 04/02/2003.
- ALLEN, TERENCE; Particle Size Measurement; John Wiley & Sons; New York; 1975.
- BRAND, F.L.; Akustische Verfahren zur Durchflussmessung, messen prüfen automatisieren ; 1987.
- BELOCK, DARYL; McDONALD, PHIL; Water System Standardizes on Clamp-On Ultrasonic Flowmeters; WaterWorld; maio de 2002.
- COMPANHIA DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ – COGERH; Disponível: <http://www.cogerh.com.br>; Acesso em 27/01/2003.
- GE PANAMETRICS INC. / Ultrasonic Transit Time Liquid Flowmeters; Disponível: http://www.panametrics.com/div_pci/pages/products/flowmeters/index.shtml. Acesso: 06/02/2003.
- HERSCHY, R. W.; The Uncertainty in a Current Meter Measurement; CNS Scientific and Engineering Services; Reading, RG4 7JA; Inglaterra; novembro de 2002.
- KOHNO, M.; NAKAGAWA, Y.; YAMAMOTO, T.; IRMANO Y.; A Fully Intelligent Ultrasonic Flowmeter; IECON , Vol. 2; 1984
- NEWSLETTER OF THE TWIN PLATTE NATURAL RESOURCES DISTRICT; Vol. 10; 2000. Disponível: <http://linux1.nrc.state.ne.us/~tpnrd>; Acesso: 20/09/2002.
- NDT RESOURCE CENTER; Introduction to Ultrasonic Testing; Disponível: http://www.ndted.org/educationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/cc_ut_index.htm; Acesso: 07/02/2003
- PAUL DAVIS AUTOMATION; Redington Counters / Hourmeters; Disponível: <http://www.pauldavisautomation.com/redington.html>; Acesso: 23/01/2003.
- PINTO, LUIZ C. B.; Procedimento Alternativo para Totalização Volumétrica Indireta de Água Bruta. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2003. 104 páginas. Tese.
- SANDERSON, M. L., Yeung, H.; Guidelines for the use of ultrasonic non-invasive metering techniques; Department of Process and Systems Engineering, School of Engineering; Cranfield University; Cranfield, Bedford; Inglaterra; 2002.
- SOLAZZO, TONY; Accuracy and Precision; Hockmeyer Equipments Corp.; Disponível: <http://services.juniata.edu/ScienceInMotion/chem/labs/phprop>; Acesso: 03/09/2003.
- TUROTEST MEDIDORES; Horímetros Linha Industrial; Disponível: <http://www.turotest.com.br>; Acesso: 12/01/2003.

**Indirect Volumetric Totalization on Bulk Water
Combining Hour Counters and Ultrasound**

ABSTRACT

The need to measure the volumes of bulk water from waters sources and effluents discharged are matters of immediate concern, since both the market and the national institutions involved in the subject are not appropriately prepared for this function. According to Pinto (2003), concerning bulk water intake, the vast majority of meters and techniques found in Brazil to measure discharges and volumes in pressure pipes are meant specifically for use with treated water and are not adequate to measure bulk water. The purpose of this study is to provide information to make it easier to measure volumes and flows at a lower cost, with an adequate level of accuracy, to be used mainly by the water resources management agencies and committees. Thus a study was performed in the field and the laboratory to test the use of an hour-counter in pumping lines with measurement by ultrasound. The results in systems without in-line filters showed an overall accuracy of $\pm 3.9\%$. This shows that the use of hour-counters is a technically feasible solution, both as regards costs and technical aspects, considering its low cost and accuracy.

Key words: discharge; volume; ultrasound; hour-counter; indirect measurement.