

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

MARCELO AIOLFI BARONE

**ANÁLISE EXPERIMENTAL SOBRE A UTILIZAÇÃO DE SENSORES
INFRAVERMELHOS EM PROVADORES DE VAZÃO DE FLUIDOS CLAROS**

VITÓRIA
2012

MARCELO AIOLFI BARONE

**ANÁLISE EXPERIMENTAL SOBRE A UTILIZAÇÃO DE SENSORES
INFRAVERMELHOS EM PROVADORES DE VAZÃO DE FLUIDOS CLAROS**

Dissertação apresentada ao programa da Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade do Espírito Santo, como requisisto parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia mecânica.

Orientador: Prof. Rogério Ramos, D.Sc.

VITÓRIA

2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

Barone, Marcelo Aiolfi, 1986-
B265a Análise experimental sobre a utilização de sensores
infravermelhos em provadores de vazão de fluidos claros /
Marcelo Aiolfi Barone. – 2012.
168 f. : il.

Orientador: Rogério Ramos.
Coorientador: Márcio Coelho de Mattos.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) –
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Medidores de fluxo. 2. Incerteza. 3. Detectores
infravermelhos. 4. Pipe prover. I. Ramos, Rogério. II. Mattos,
Márcio Coelho de. III. Universidade Federal do Espírito Santo.
Centro Tecnológico. IV. Título.

CDU: 621

MARCELO AIOLFI BARONE

**ANÁLISE EXPERIMENTAL SOBRE A UTILIZAÇÃO DE SENSORES
INFRAVERMELHOS EM PROVADORES DE VAZÃO DE FLUIDOS CLAROS**

Dissertação apresentada ao programa da Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia mecânica.

Aprovada em 29 de Outubro de 2012.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Rogério Ramos - Orientador
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Prof. Dr. Márcio Coelho de Mattos - Co-orientador
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Prof. Dr. Bruno Venturini Loureiro
Faculdade Centro Leste (UCL)

Valter Yoshihiko Aibe
Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO)

VITÓRIA

2012

*“O único lugar onde o sucesso vem
antes do trabalho é no dicionário.”
Albert Einstein*

Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente ao professor e orientador, Rogério Ramos, pelo respeito, pelo incentivo, por sempre estar disponível e, acima de tudo, pela confiança depositada em mim ao longo desse período de convivência.

Agradeço aos meus pais por me incentivarem a alcançar caminhos cada vez mais distantes. Muito Obrigado!

Agradeço a minha noiva, Clara, por ser compreensiva nos momentos difíceis enfrentados e por estar ao meu lado nesses oito anos trilhando nosso caminho.

Não poderia deixar de agradecer, Leonardo Bastos, pela paciência na solução dos problemas encontrados no *pipe prover*.

E aos meus amigos que conheci, convivi e me ajudaram nesses dois anos de mestrado.

Resumo

Este trabalho utiliza um protótipo de escala laboratorial do medidor primário *pipe prover* de modo a avaliar a sua conformidade com os requisitos estabelecidos por normas técnicas e examinar a incerteza da medição da vazão realizados, além de verificar a reprodutibilidade das medições, testes com esferas de diferentes diâmetros, a influência de parâmetros operacionais tais como a variação da pressão de operação e comparação com o teste gravimétrico. O protótipo é feito de tubos plástico com dimensões definidas estatisticamente. Dentro do tubo, uma esfera de elastômero interferente é impulsionada por um escoamento fornecido por uma bomba centrífuga. O sistema de detecção usa sensores de luz infravermelha capaz de detectar a passagem das esferas sem causar interferência ou bloqueio na tubulação. O sistema de aquisição de dados é automático e registra o tempo de trânsito da esfera através de cada pulso de sinal detectado bem como os pulsos gerados por um medidor calibrado tipo turbina, como comparação da avaliação das incertezas de processo utilizando o desempenho da técnica dos sensores infravermelhos.

Palavras-chave: *pipe prover*, incerteza, medição de vazão, método gravimétrico, reprodutibilidade, medidor primário.

Abstract

The work uses a laboratory scaled prototype of primary pipe prover flowmeter in order to assess conformity with the requirements established by technical standards and examine the uncertainties of flow measurement performed, besides to check the reproducibility of measurements, tests with spheres of different diameters, the influence of operating parameters such as operating pressure variation and comparison with gravimetric test. The prototype is plastic tubing and considering statically defined dimensions. Inside tubing, an interfering elastomer sphere is driven by flow provided by a centrifugal pump. The detection system uses infrared light sensors able to detect the spheres passage causing pipeline interference or blockage. The acquisition data system is automatic and records the sphere transit time through each pulse signal detected as well as the pulses generated by a calibrated turbine meter, as comparison of the evaluation of process uncertainties using the technique performance with infrared sensors.

Keywords: pipe prover, uncertainty, flow measurement, gravimetric method, reproducibility, primary meter.

Lista de Figuras

3.1	Classificação dos provadores.	24
3.2	<i>Pipe prover</i> convencional.	25
3.3	Classificação dos provadores.	25
3.4	Esquema do princípio de funcionamento de um <i>Piston prover</i> ou <i>small volume prover</i>	26
3.5	<i>Pipe prover</i> unidirecional.	26
3.6	<i>Pipe prover</i> bidirecional.	27
5.1	Principais componentes do provador <i>Pipe Prover</i>	45
5.2	Detalhe do cavalete de comandos.	46
5.3	Funcionamento da válvula de quatro vias.	47
5.4	Arranjo de válvula para reversão do escoamento.	47
5.5	Montagem e operação do conjunto de válvulas de 4 vias.	48
5.6	Trechos do provador.	49
5.7	Sensor ótico montado no colar de tomada.	50
5.8	Detalhes de instalação do sensor ótico.	50
5.9	Arquitetura do sistema.	51
5.10	Croqui dos sinais enviados.	52
5.11	Croqui de pulso inteiro.	52
5.12	Exemplo de contagem de pulsos inteiros.	52
5.13	Contagem de Tempo.	53
5.14	Pulsos processados.	54
5.15	Cavalete de Válvulas.	55
5.16	Sistema de alimentação do provador.	55
5.17	Medidor tipo turbina em linha.	56
5.18	Esferas de elastômero.	57

5.19	Croqui do teste de reprodutibilidade.	58
5.20	Croqui do método gravimétrico.	58
5.21	Croqui da variação do volume base devido a pressão.	59
6.1	Resultado do teste de dilatação por pressão na tubulação.	64
6.2	Sistema de contagem de pulsos.	70
7.1	Comparação das incertezas dos trechos na vazão máxima.	73
7.2	Comparação das incertezas dos trechos na vazão intermediária.	75
7.3	Comparação das incertezas dos trechos na vazão mínima.	75
7.4	Comparação dos trechos S1-S2 e S2-S1.	79
7.5	Comparação dos trechos S2-S3 e S3-S2.	80
7.6	Comparação dos trechos S3-S4 e S4-S3.	81
7.7	Comparação dos trechos S1-S4 e S4-S1.	82
7.8	Impureza encontrada no filtro após alguns ciclos de medição.	83
7.9	Resultado do método gravimétrico para o trecho S1-S4 na vazão máxima. . . .	84
7.10	Resultado do método gravimétrico para o trecho S4-S1 na vazão máxima. . . .	85
7.11	Resultado do método gravimétrico para o trecho S1-S4 na vazão intermediária. .	85
7.12	Resultado do método gravimétrico para o trecho S4-S1 na vazão intermediária. .	86
7.13	Resultado do método gravimétrico para o trecho S1-S4 na vazão mínima. . . .	86
7.14	Resultado do método gravimétrico para o trecho S4-S1 na vazão mínima. . . .	87
7.15	Comparação do volume do provador dos trechos S1-S4, S4-S1 e Lavezzo (2010). .	88
7.16	Resultado do teste de pressão controlada ($0,50 \text{ kgf/cm}^2$) para a vazão máxima. .	90
7.17	Resultado do teste de pressão controlada ($0,75 \text{ kgf/cm}^2$) para a vazão máxima. .	91
7.18	Resultado do teste de pressão controlada ($1,00 \text{ kgf/cm}^2$) para a vazão máxima. .	91
7.19	Resultado do teste de pressão controlada ($0,50 \text{ kgf/cm}^2$) para a vazão interme- diária.	92
7.20	Resultado do teste de pressão controlada ($0,75 \text{ kgf/cm}^2$) para a vazão interme- diária.	92
7.21	Resultado do teste de pressão controlada ($1,00 \text{ kgf/cm}^2$) para a vazão interme- diária.	93
7.22	Resultado do teste de pressão controlada ($0,50 \text{ kgf/cm}^2$) para a vazão mínima. .	93
7.23	Resultado do teste de pressão controlada ($0,75 \text{ kgf/cm}^2$) para a vazão mínima. .	94
7.24	Resultado do teste de pressão controlada ($1,00 \text{ kgf/cm}^2$) para a vazão mínima. .	94
7.25	Resumo dos dados obtidos para o trecho S1-S4.	95
7.26	Resumo dos dados obtidos para o trecho S4-S1.	95

7.27	Resultado do teste de pressão conforme a norma ISO 7278-2.	97
7.28	Comparação das esferas quanto ao diâmetro médio e o desvio padrão.	99
7.29	Resultados da esfera 5 para vazão máxima.	100
7.30	Resultados da esfera 6 para vazão máxima.	101
7.31	Resultados da esfera A para vazão máxima.	101
7.32	Resultados da esfera B para vazão máxima.	102
7.33	Resultados da esfera 5 para vazão intermediária.	103
7.34	Resultados da esfera 6 para vazão intermediária.	103
7.35	Resultados da esfera A para vazão intermediária.	104
7.36	Resultados da esfera B para vazão intermediária.	104
7.37	Resultados da esfera 5 para vazão mínima.	105
7.38	Resultados da esfera 6 para vazão mínima.	106
7.39	Resultados da esfera A para vazão mínima.	106
7.40	Resultados da esfera B para vazão mínima.	107
7.41	Comparação das incertezas combinadas para vazão máxima.	110
7.42	Comparação das incertezas combinadas para vazão intermediária.	110
7.43	Comparação das incertezas combinadas para vazão mínima.	110

Lista de Tabelas

4.1	Fator de abrangência	41
4.2	Fator de correção da distribuição t-Student	43
5.1	Análise dimensional das esferas.	57
6.1	Leituras do teste de dilatação do tubo em função da pressão.	63
6.2	Avaliação da incerteza devido ao acionamento da válvula de três vias.	68
6.3	Análise estatística das observações.	69
7.1	Resultado dos trechos para a vazão máxima.	73
7.2	Resultado dos trechos para a vazão intermediária.	74
7.3	Resultado dos trechos para a vazão mínima.	76
7.4	Dados do escoamento no provador.	77
7.5	Limite de rejeição de Chauvenet	78
7.6	Dados da comparação dos trechos S1-S2 e S2-S1.	79
7.7	Dados da comparação dos trechos S2-S3 e S3-S2.	80
7.8	Dados da comparação dos trechos S3-S4 e S4-S3.	81
7.9	Dados da comparação dos trechos S1-S4 e S4-S1.	82
7.10	Incertezas obtidas do método gravimétrico.	87
7.11	Incerteza obtida no método gravimétrico para três corridas para cada trecho. . .	89
7.12	Resumo dos dados obtidos para o trecho S1-S4.	96
7.13	Resumo dos dados obtidos para o trecho S4-S1.	96
7.14	Resultado do teste de pressão conforme a norma ISO 7278-2.	98
7.15	Avaliação dimensional das esferas.	99
7.16	Incertezas obtidas da esfera 5.	107
7.17	Incertezas obtidas da esfera 6	108
7.18	Incertezas obtidas da esfera A.	108

7.19 Incertezas obtidas da esfera B.	109
--	-----

Lista de Abreviações

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
API	<i>American Petroleum Institute</i>
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>
BIPM	<i>International Bureau of Weights and Measures</i>
GUM	<i>Guide Uncertainty Measurement</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
OHM	<i>National Office Measures Hungary</i>
PTB	<i>Physikalisch Technische Bundesanstalt</i>
VIM	Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia

Lista de Símbolos

$[u(x_i)/x_i]^2$	Variância relativa estimada associada à estimativa de entrada x_i
$[u_c(y)/y]^2$	Variância combinada relativa associada à estimativa de saída y
$\mu^2(x_i)$	Variância estimada associada à estimativa de entrada x_i
μ_q	Média da distribuição de probabilidade da grandeza aleatoriamente variável q
ν	Graus de liberdade
$\bar{q}$	Média aritmética ou média
$\sigma^2(\bar{q})$	Variância de $\bar{q}$, estimada por $s^2(\bar{q}) = s^2(q_k)/n$
σ^2	Variância de uma distribuição de probabilidades
f	Função entre o mensurando Y e as grandezas de entrada X_i
k	Fator de abrangência usado para calcular a incerteza expandida $U = k u_c(y)$
N	Número de grandezas de entrada X_i
n	Número de observações repetidas
p	Nível da confiança
$r(x_i, x_j)$	Coeficiente de correlação estimado associado às estimativas de entrada x_i e x_j
$s(\bar{X}_i)$	Desvio padrão experimental da média de entrada $\bar{X}_i$
$s^2(\bar{X}_i)$	Variância experimental da média de entrada $\bar{X}_i$

$u(x_i, x_j)$	Covariância estimada
Y	Mensurando
y	Estimativa do mensurando Y
ν_{eff}	Graus de liberdade efetivos de $u_c(y)$
ν_i	Graus de liberdade da incerteza padrão $u(x_i)$ da estimativa de entrada x_i
$\partial f / \partial x_i$	Derivada parcial com respeito à grandeza de entrada X_i da relação funcional f
c_i	Derivada parcial ou coeficiente de sensibilidade $c_i \equiv \partial f / \partial x_i$.
q_k	k-ésima observação repetida independente da grandeza aleatoriamente variável
$s^2(\bar{q})$	Desvio padrão experimental da média $\bar{q}$
$s^2(q_k)$	Variância experimental
$t(\nu)$	Fator-t da distribuição-t para ν graus de liberdade correspondendo a uma dada probabilidade p
U	Incerteza expandida da estimativa de saída y que define um intervalo $Y = y \pm U$
$u_c^2(y)$	Variância combinada associada à estimativa de saída y
$u_i^2(y)$	Componente da variância combinada $u_c^2(y)$
$u_c(y)$	Incerteza padrão combinada da estimativa de saída y
$X_{i,k}$	k-ésima observação repetida independente de X_i
X_i	i-ésima grandeza de entrada da qual depende o mensurando Y
x_i	Estimativa da grandeza de entrada X_i

Sumário

Agradecimentos	vi
Resumo	vii
Abstract	viii
Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xiii
Lista de Abreviações	xiv
Lista de Símbolos	xvi
1 Introdução	18
2 Revisão Bibliográfica	20
3 Sistemas de Provadores de Vazão para Líquidos	24
3.1 Provadores em Linha de Deslocamento Mecânico	25
4 Expressão da Incerteza	28
4.1 Repetitividade	29
4.2 Reprodutibilidade	29
4.3 Rastreabilidade	30
4.4 Incerteza Associada à Medição	31
4.4.1 Avaliando a Incerteza Padrão	34
4.4.2 Incerteza Padrão do Tipo A	35
4.4.3 Incerteza Padrão do Tipo B	36
4.4.4 Incerteza Padrão Combinada	37

Grandezas de Entrada não Correlacionadas	38
Grandezas de Entrada Correlacionadas	39
4.4.5 Lei de Propagação da Incerteza	40
4.4.6 Incerteza Padrão Expandida	41
5 Projeto do <i>Pipe Prover</i>	44
5.1 Detalhes de Construção	45
5.1.1 Sistema de Bombeamento	46
5.1.2 Cavalete de Comando	46
5.1.3 Válvula de Reversão do Escoamento	47
5.1.4 Provador	48
5.1.5 Sensores Óticos	49
5.1.6 Sistema de Aquisição de Dados	50
Contagem Relativa de Pulsos Inteiros	52
Contagem Estimada do Número de Pulsos Total	53
5.1.7 Cavalete de Válvulas (<i>Manifold</i>)	54
5.1.8 Válvulas Operacionais e Sistema de Alimentação do Provador	55
5.1.9 Turbina	56
5.1.10 Esferas de Elastômero	56
5.2 Funcionamento do Provador	57
6 Descrevendo a Incerteza	60
6.1 <i>Pipe Prover</i>	60
6.1.1 Fatores de Correção	60
6.1.2 Variação do Volume Base devido a Pressão	63
6.1.3 Variação do Volume Base devido a Temperatura	64
6.1.4 Expressão da Incerteza da Vazão do <i>Pipe Prover</i>	65
6.2 Método Gravimétrico	65
6.2.1 Fatores de Correção	65
6.2.2 Válvula de Três Vias	68
6.2.3 Expressão da Incerteza do Método Gravimétrico	69
6.3 Turbina	69
6.3.1 Interpolação de Pulsos	70
6.3.2 Expressão da Incerteza da Turbina	71
7 Resultados e Discussões	72

7.1	Avaliação dos Vários Volumes	72
7.1.1	Vazão Máxima	72
7.1.2	Vazão Intermediária	74
7.1.3	Vazão Mínima	75
7.2	Reprodutibilidade	77
7.3	Método Gravimétrico	84
7.3.1	Vazão Máxima	84
7.3.2	Vazão Intermediária	85
7.3.3	Vazão Mínima	86
7.4	Pressão Controlada	90
7.4.1	Vazão Máxima	90
7.4.2	Vazão Intermediária	92
7.4.3	Vazão Mínima	93
7.5	Avaliação de Esferas com Diferentes Diâmetros	99
7.5.1	Vazão Máxima	100
7.5.2	Vazão Intermediária	102
7.5.3	Vazão Mínima	105
8	Conclusão	111
	Referências Bibliográficas	117
A	Resultados Experimentais	118

Capítulo 1

Introdução

Na indústria do petróleo, a produção de um campo de óleo pode envolver diferentes operadoras. As operações de transferência de custódia consistem na transferência de propriedade de certa quantidade de fluido de uma empresa para outra seguindo os requisitos técnicos da medição fiscal, ou seja, pela medição do volume produzido por um ponto credenciado de medição da produção.

Devido ao alto valor do produto e das transações, além do valor comercial desses escoamentos, há o interesse do governo na cobrança de impostos o que gera a necessidade de melhorias nas técnicas de medição com o objetivos de verificar a quantidade correta envolvida em cada transação. De acordo com as normas, os medidores de escoamento devem passar por uma análise periódica de desempenho para atestar a veracidade das medições, através de processos de verificação e calibração.

No Brasil a portaria conjunta nº1 de 2000, publicada pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2000), regulamenta que os medidores em linha devem ser do tipo deslocamento positivo ou do tipo turbina ou medidores mássico com indicação de volume e a calibração do sistema de medidores pode ser realizada por provadores, tanque de prova, medidores padrão ou outros sistemas desde que autorizado pela ANP.

Para medir grandes volumes de líquidos nas transferência de custódia são utilizados os provadores de vazão primária do tipo bidirecional de esfera (citado neste texto como *pipe prover*).

Segundo o Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia (VIM, 2007), o termo vazão primária significa que a vazão é estimada por meio de variáveis indepen-

denes (massa, comprimento, tempo, etc). Para o *pipe prover*, o volume do trecho conhecido é determinado pelo comprimento e o diâmetro da tubulação e registrado o tempo de percurso de uma esfera em trânsito, assim obtém-se a vazão pela razão direta do volume pelo tempo.

Por outro lado, em um medidor secundário de vazão não há correlação das variáveis independentes diretamente, exigindo correlações intermediárias entre as propriedades físicas do escoamento, tais como coriolis, ultrassom, placa de orifício ou medidores de vazão eletromagnéticos.

Os diferentes tipos de medidores apresentam diferentes incertezas durante uma determinada medição, devendo ser recalibrados depois de um determinado período para verificação da sua eficiência.

Este trabalho tem como objetivo analisar a incerteza da medição da vazão realizada por um protótipo de *pipe prover* em escala laboratorial a fim de compreender o comportamento das incertezas da vazão em relação a normas específicas, além da validação da técnica de registro do tempo por meio dos sensores de luz infravermelha, bem como avaliar a influência dos parâmetros operacionais tais como a variação da pressão de operação, além da comparação do seu desempenho com o método gravimétrico.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

Um dos primeiros registros de utilização do pipe prover ocorreu em 1950, esse ficou conhecido como medidor de milha devido ao trecho de uma milha de comprimento de tubulação utilizada para a medição. Durante o mesmo período a Companhia de Desenvolvimento da Shell adotou a esfera como deslocador, reduzindo a interface de contaminação e permitindo outras configurações além de trechos de linhas retas (Dobesh, 1983). Segundo Ting e Halpine (1991) os provadores de líquidos bidirecionais são utilizados desde 1959.

Na década de 60, Pfrehm (1962) apresentou detalhes do mecanismo de operação e construção do provador bidirecional, além da calibração para as unidades de transferência de custódia para aluguel automático (unidades LACT). A calibração dos medidores nestas unidades eram realizadas por provadores tanques ou medidores mestres. Considerado como uma terceira ferramenta para calibração, os provadores bidirecionais, possuíam a vantagem de evitar vícios e tendências devido à calibração em ambos os sentidos. Para determinar o volume base dos provadores, Pfrehm (1962) descreveu três métodos: Método de Drenagem de Água (*Water Withdrawal Method*), Método do Medidor Mestre (*Master Meter Method*) e Método de Medição Direta (*Direct Measurement Method*).

A Associação Americana de Petróleo (*American Petroleum Institute* - API) em 1965 publicou a norma API 2531, com o título *Mechanical Displacement Meter Provers*, que apresentava recomendações de construção, operação e calibração para os medidores de medição por deslocamento mecânico.

Tyau (1974) patenteou o equipamento de teste para medição de escoamento em linha. As princi-

país características da patente era a utilização de uma esfera com leve interferência no interior da tubulação que em algum momento passava por dois interruptores elétricos conectados a um gerador de pulsos, por exemplo, uma turbina. Desta forma foi possível comparar a vazão do provador com os pulsos gerados pela turbina, pois cada pulso da turbina representa uma unidade de volume permitindo assim a comparação dos sistemas.

Em seu trabalho, Redilla (1977) estudou os sistemas dos provadores unidirecionais e bidirecionais, abordando detalhes da construção da secção de prova, dimensão da esfera, detectores, válvula de reversão de escoamento e outros aspectos que podem contribuir para o erro nas medições.

No final da década de 70, Su (1979) realizou uma estudo estatístico aplicado na calibração de medidores com o objetivo de determinar o número mínimo de corridas necessárias no medidor para obter uma calibração com um nível de confiança desejável.

A *American Society of Mechanical Engineers* (ASME) em conjunto com *American National Standards Institute* (ANSI) publicaram em 1983 a norma ANSI/ASME MFC-2M que apresentava conceitos e recomendações para o tratamento de erros e de incertezas para a medição de escoamento em condutos fechados.

Por não haver consenso internacional no método de calibração e cálculo da incerteza, Gyory (1984) estudou e aplicou, nos provadores bidirecionais, as normas de três entidades: *Physikalisch Technische Bundesanstalt* (PTB) da Alemanha, *National Office Measures Hungary* (OHM) e *American Petroleum Institute* (API) dos Estados Unidos. Para comparar as recomendações de cada norma, o autor realiza uma única medição para o mesmo volume base e compara a incerteza calculada por uma medição dada pela norma ISO TC 30 SC9 e a incerteza experimental da média.

Os métodos de calibração mais utilizados nos provados em linha foram estudados por Comstock (1985). Estes métodos tem como propósito a determinação e certificação do volume base dos provadores. Comstock abordou em seu trabalho os métodos de drenagem de água (*Waterdraw Method*) que consiste em mensurar a água vinda do provador e acumulada em um tanque padrão calibrado (com certificado de calibração), outro método estudado foi o medidor mestre (*master meter*) que utiliza outro medidor como referência na calibração.

No ano de 1988, a entidade *American Petroleum Institute* (API) publicou o manual de medição de petróleo, API MPMS 4.2, que substituiu diversas normas (API 1101, API 2531, API 2533, API

2534). No mesmo ano foi publicada pela *International Organization for Standardization* (ISO) a norma ISO 7278-2 que faz recomendações para os sistemas de provadores para medidores volumétricos.

A interpolação de pulsos em provadores em linha foi estudado por Comstock (1990), apresentado três métodos mais usuais: *Four Timer method* (método de quatro tempos), *Phase Lock loop method* (método do circuito fechado) e o *Double Chronometry* (método de tempo duplo). Em seu artigo relata ainda que para o bom funcionamento desses métodos, assume que o escoamento seja permanente e que os pulsos sejam uniformemente espaçados. O autor também explica o funcionamento dos métodos com suas respectivas formulações.

Por sua vez, o conceito atual de incerteza de medição foi definido em 1993, quando as entidades ISO e *International Bureau of Weights and Measures* (BIPM) publicaram a 1ª edição do *Guide Uncertainty Measurement* (GUM) sendo corrigida e reimpressa em 1995 (GUM, 1995).

A primeira edição do Guia para a Expressão da Incerteza de Medição no Brasil, foi publicada em 1997 pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial (INMETRO) em parceria com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sendo revisado em 2003 (GUM, 2003). Neste texto será referenciado nas iniciais em inglês como GUM.

Diversos avanços tecnológicos do *pipe prover* que ocorreram nos últimos anos foram abordados por Jakubenas (1995), que descreveu em detalhes as configurações mecânicas e os avanços na instrumentação eletrônica que permitiram ao *pipe prover* maior confiabilidade dos dados e diminuição do tamanho do provador que resultou em uma melhor exatidão da medição. Dos avanços relatados por Jakubenas podem ser citados: inserção de múltiplos detectores nos provadores bidirecionais, controle por computador do sistema, redução do comprimento do provador em pré-operação, redução do volume do provador devido aos métodos de interpolações e a integração do provador com outros sistemas de medição.

No ano de 1999, a ISO publicou a ISO 7278-4, um guia para os operadores de *pipe prover*. No mesmo ano, Garcia e Sherief (1999) fizeram um estudo detalhado do método de drenagem de água, descrevendo os equipamentos necessários, recomendações antes do início dos testes, lista com possíveis erros e soluções além de apresentar as fórmulas para correção da temperatura e pressão.

Upp e LaNasa (2002) compilaram um livro com o título "*Fluid Flow Measurement - A Practical Guide to Accurate Flow Measurement*", com o objetivo de orientar na melhor escolha do

medidor de vazão no qual abordando a influência dos fatores que afetam a eficiência do processo de medição como: fatores ambientais, contratuais, limitações do instrumento de medição, calibração, manutenção e operação dos equipamentos.

Seguindo as recomendações do GUM, Silva (2004) discutiu em seu trabalho a expressão da incerteza, abordando não só os conceitos, classificações, procedimentos de cálculo e sua propagação como também aplicou a incerteza a alguns tipos de medidores com as devidas considerações.

A incerteza foi novamente estudada por Andrade et al. (2006). Neste trabalho os autores comentam sobre a incerteza em medidores mais usados na indústria, além de explicar sobre os conceitos de erros aleatórios e erros sistemáticos bem como identificá-los e tratá-los em processo de medição.

Syrnyk e Seiler (2007) utilizaram como referência os provadores *pipe prover* bidirecional e *small volume* para estudar a precisão e a incerteza dos medidores ultrassônicos.

Jeronymo et al. (2009) tiveram como objetivo a aplicação do método de tempo duplo no *small volume prover*. É descrito em detalhes no trabalho a construção e funcionamento da unidade de interpolação de pulsos. Após a construção, testes foram executados em que possibilitavam controlar a frequência dos pulsos gerados para assim avaliar a unidade de interpolação de pulsos.

Lavezzo (2010) projetou e construiu um protótipo laboratorial do provador *pipe prover* com intuito de avaliar experimentalmente as incertezas e o desempenho, obedecendo aos requisitos estabelecidos pelas normas.

Engel e Baade (2012) buscaram determinar a densidade da água em condições reais durante o teste de calibração utilizando o método gravimétrico. Para isso demonstraram os cálculos das incertezas utilizadas além de tecerem comentários sobre o efeito da temperatura e pressão no fluido e na tubulação. Depois de alguns estudos de casos, os autores chegam a conclusão de que o ar dissolvido no fluido não causaria impacto na incerteza da medição, diferentemente da compressibilidade do fluido testado que não poderia ser negligenciada, devido ao efeito da pressão na tubulação.

Capítulo 3

Sistemas de Provadores de Vazão para Líquidos

Os sistemas de provadores de vazão para líquidos são utilizados na calibração das medições de petróleo com o objetivo de aferir a performance dos medidores e são classificados como estáticos e dinâmicos (Bos, 2009). De acordo com a norma ISO 7278-1 (1987), os principais sistemas de provadores são:

- Provadores Tanque;
- Provadores em linha: unidirecional e bidirecional; e
- Medidores mestres.

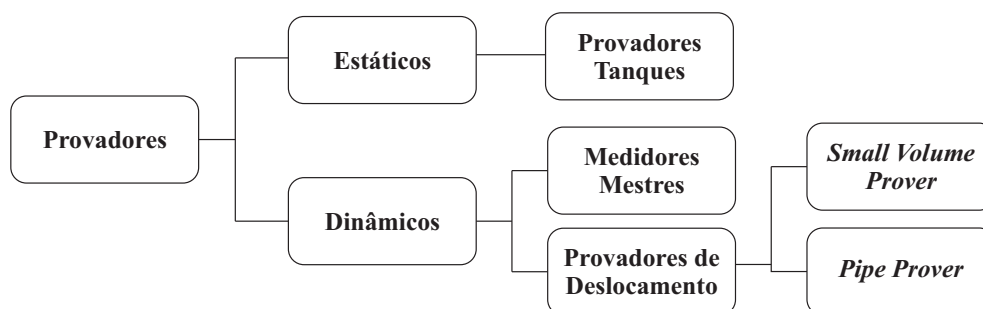


Figura 3.1: Classificação dos provadores.

Fonte: Bos (2009).

O trabalho tem como foco o estudo e avaliação de um protótipo de provador de tubo (*pipe prover*) em linha, bidirecional, utilizando sensores infravermelhos para detecção da passagem da esfera de elastômero em trânsito que será comparado com um medidor tipo turbina e pelo

método gravimétrico. Também será avaliada a reprodutibilidade de remontagem do provador, bem como a influência da interferência da esfera com a parede interna do tubo.

3.1 Provadores em Linha de Deslocamento Mecânico

Os provadores em linha de deslocamento mecânico são conhecidos como *pipe prover* (Figura 3.2).

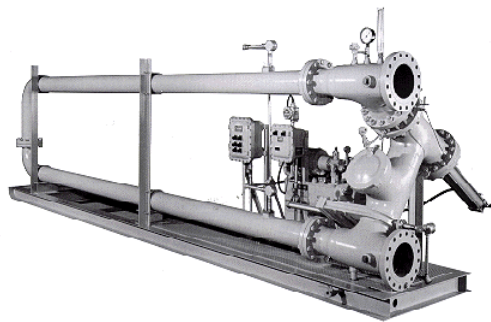


Figura 3.2: *Pipe prover* convencional.

Fonte: APLJaK Ventures (2012)

Esses são classificados quanto ao número de pulsos, tipo de deslocador (pistão ou esfera) e unidirecional ou bidirecional. Lee (2005) relata com mais detalhes a classificação do *pipe prover*, como mostrado na Figura 3.3.

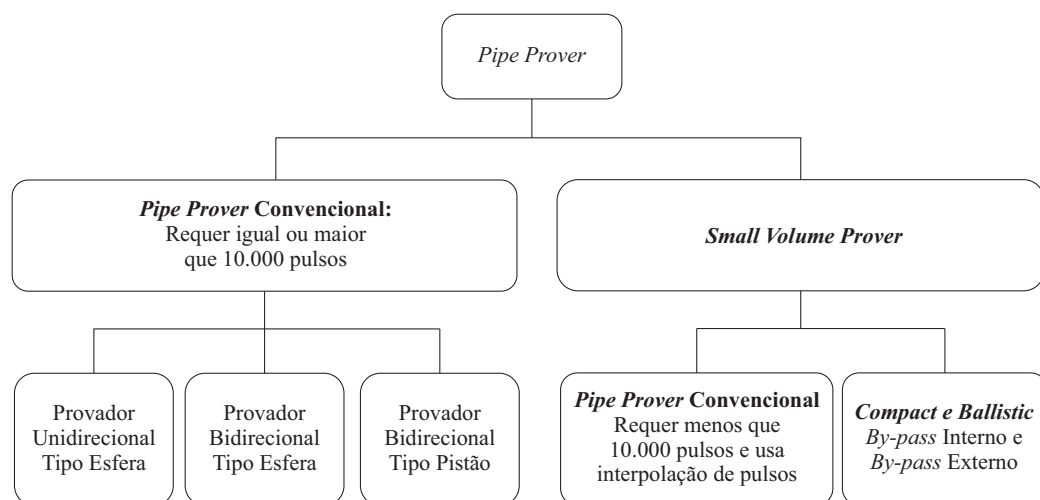


Figura 3.3: Classificação dos provadores.

Fonte: Lee (2005).

O *pipe prover* consiste em um tubo de dimensões conhecidas estatisticamente que utiliza como deslocador um pistão ou uma esfera preenchida com o fluido de trabalho. A detecção do deslocador é feita por sensores de posição cujos sinais são interrompidos durante sua passagem tal como exemplificado na Figura 3.4.

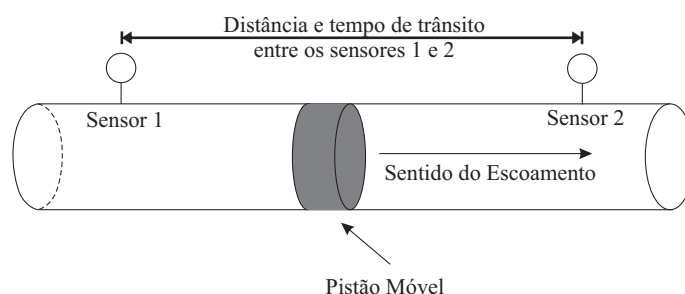


Figura 3.4: Esquema do princípio de funcionamento de um *Piston prover* ou *small volume prover*

O *small volume prover* possui uma seção de tubos ou cilindro com volumes menores que o *pipe prover* convencional além de requerer menos que 10.000 pulsos gerados, enquanto que o *pipe prover* convencional necessita de pelo menos 10.000 pulsos por corrida. Por esse motivo é requerida uma maior precisão dos detectores e interpolação dos pulsos para obter a repetitividade determinada.

Os provadores unidirecionais (Figura 3.5) permitem um único sentido de escoamento. Nesta configuração, o *pipe prover* unidirecional permite que o retorno da esfera a sua posição inicial seja feita por duas formas (ISO 7278-2, 1988):

- Retorno Manual
- Retorno Automático

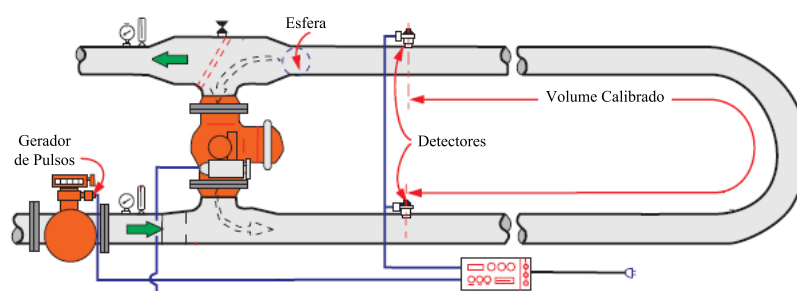


Figura 3.5: *Pipe prover* unidirecional.

Fonte: Ryan (1999)

No retorno manual, a esfera é lançada no provador em escoamento contínuo. Ao percorrer o provador, a esfera passa pelo primeiro sensor interrompendo o sinal emitido por aquele e assim começa a contagem do tempo de viagem. Ao passar pelo segundo detector a contagem é finalizada e retirada no receptor (conjunto de válvulas que permite a retirada da esfera sem a interferência do escoamento).

O retorno automático permite o retorno da esfera à posição inicial sem a necessidade de retirá-la da tubulação. Desta forma é possível realizar vários ciclos sem interrupção, permitindo maior confiança dos dados.

Os provadores que permitem o escoamento em ambos os sentidos são conhecidos como bidirecionais (Figura 3.6). O equipamento que permite a mudança no sentido do escoamento é chamado de válvula de reversão de escoamento ou válvula de quatro vias. Neste caso, é necessário um trecho suficiente no provador antes do primeiro detector e depois do último detector para a estabilização do escoamento.

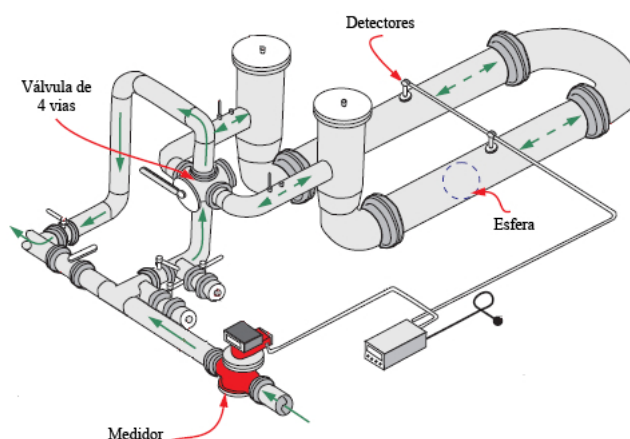


Figura 3.6: *Pipe prover* bidirecional.

Fonte: Ryan (1999)

O *pipe prover* bidirecional possibilita a verificação de vícios e tendências que possam ocorrer no sistema devido à coleta de dados em ambos os sentidos além disso pode ser usado como um provador de múltiplos volumes, ou seja, secções com o mesmo volume calibrado em série. Estas vantagens não podem ser atingidas no *pipe prover* unidirecional pois a esfera percorre o provador em apenas um sentido e retorna para a posição inicial seja, por retorno manual ou automático.

Capítulo 4

Expressão da Incerteza

De acordo com a norma API MPMS 13.1 (2002), medição é um processo para determinar um valor de uma variável física, seja esta um número contável de objetos ou eventos, então pode-se dizer que não há dúvida das medidas. Para grandes quantidade de objetos e eventos podem ocorrer a impossibilidade de contar, desta forma é necessária uma aproximação que representa uma dispersão dos valores em relação ao valor verdadeiro. Esta dispersão é chamada de incerteza, ou seja, representa uma dúvida acerca de quão correto são os resultados da medição (GUM, 2003).

A aplicação de técnicas de estatística para o cálculo da incerteza, requer que o processo de medição esteja em controle estatístico. Enquanto este controle não for atingido, qualquer dado relativo à estimativa do valor verdadeiro a ser medido e a incerteza associada a este, não será válida e pode ser insignificantes. (API MPMS 13.1, 2002; GUM, 2003).

Assim, para que um processo de medição esteja controlado estaticamente é necessário que as mesmas quantidades medidas sejam repetidas sob os mesmos métodos e condições, mostrando estabilidade dos valores médios e uma dispersão regular dos resultados individuais.

Para auxiliar na avaliação do comportamento estatístico utiliza-se a repetitividade e reprodutibilidade, caso haja necessidade de comparar diferentes resultados com certo nível de confiança. É necessário também a avaliação da rastreabilidade do mensurando, a qual não é necessariamente feita por métodos estatísticos.

4.1 Repetitividade

O VIM (2007) e GUM (2003) definem repetitividade como:

“O grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando, efetuadas sob as mesmas condições de medição.”

É a capacidade que o sistema possui de obter o mesmo valor em um determinado experimento, podendo sempre ser determinado experimentalmente por uma série de medições repetidas com condições controladas e análise de resultados estatísticos.

As condições de repetitividade são:

- Mesmo procedimento de medição;
- Mesmo observador;
- Mesmo instrumento de medição, utilizando nas mesmas condições;
- Mesmo local;
- Repetição em curto período de tempo.

Em um experimento a repetitividade pode ser expressa, quantitativamente, em função das características de dispersão dos resultados. Em calibração de curta duração, a repetitividade quando utiliza os métodos volumétricos e gravimétricos devem ser tal que o resultado de três corridas sucessivas de calibração estão na faixa de 0,02% (ISO 7278-2, 1988).

4.2 Reprodutibilidade

De acordo com GUM (2003) reprodutibilidade é definida como sendo o “grau de concordância entre os resultados das medições de um mesmo mensurando, efetuadas sob condições modificadas de medição”.

E para a norma API MPMS 13.1 (2002):

“É uma expressão quantitativa do erro aleatório associado com diferentes operadores em diferentes locais com diferentes instrumentos, com cada operador obtendo medições únicas sobre o mesmo corpo de material utilizando os mesmos métodos e

os mesmos tipos de instrumentos de medição.”

As duas definições basicamente se coincidem e as condições modificadas necessárias para que ocorra a reprodutibilidade são:

- Princípio de medição;
- Método de medição;
- Observador;
- Padrão de referência;
- Local;
- Condições de utilização;
- Tempo.

Assim como a repetitividade, a reprodutibilidade também pode ser expressa em função da dispersão dos resultados.

Quando uma boa reprodutibilidade é alcançada, isso sugere que os erros aleatórios são pequenos (boa repetitividade) e provavelmente os erros sistemáticos não inerentes ao método, também são muito limitados em tamanho e número (API MPMS 13.1, 2002).

Para as medições de petróleo as condições de reprodutibilidade podem ser atendida para termos quantitativos, isso se deve porque a identidade do petróleo quase sempre é perdida durante seu movimento. Uma possível solução para alcançar as condições de reprodutibilidade, é quando dois operadores em conjunto, cada um com o próprio aparelho, medem no mesmo local.

4.3 Rastreabilidade

Mesmo que obedecidas as condições de repetitividade e reprodutibilidade, é importante a comparação dos resultados, seja de laboratórios diferentes ou do mesmo laboratório em momentos distintos, garantindo que todos estão utilizando a mesma escala de medição ou ponto de referência. Isto pode ser alcançado utilizando-se uma cadeia de calibrações levando aos padrões primários nacionais e internacionais.

Esta cadeia que conduz a um valor de referência é chamada de cadeia de rastreabilidade, definida

por VIM (2007) como:

“A propriedade do resultado de uma medição ou do valor de um padrão estar relacionada a referências estabelecidas, geralmente a padrões nacionais ou internacionais, através de uma cadeia contínua de comparações, todas tendo incertezas estabelecidas.”

Este conceito é muito importante por relacionar, em uma escala consistente, o controle do resultado de medições. Reforçam este conceito tanto a incerteza como o acordo entre os laboratório para efetuarem medições semelhantes.

4.4 Incerteza Associada à Medição

Seguindo as condições de repetitividade nos experimentos e estabelecido o comportamento estatístico estável passa-se a identificar e analisar as possíveis fontes de incertezas associadas ao processo de medição.

Na declaração do resultado de uma medição, deverá ser declarada a incerteza associada, isso porque o resultado representa somente uma aproximação ou estimativa da grandeza do valor verdadeiro.

A incerteza de um resultado de medição ocorre devido às medições estarem sujeitas as imperfeições que dão origem aos erros, sendo esses causados por: pequenas diferenças na construção do instrumento, método de medição, desvios ao longo do tempo ou por variações ambientais.

Desta forma a incerteza é representada por uma faixa de erros prováveis em vez de limites absolutos, isso porque a contribuição dos valores máximos destes componentes podem ser improváveis ao mesmo tempo e assim levaria a uma estimativa pessimista de sua amplitude. Mesmo com o processo bem controlado, sempre existe a possibilidade de que algumas observações fiquem fora desse intervalo.

De acordo com GUM (2003) um erro pode possuir dois componentes, um aleatório e um sistemático”. A definição que o VIM (2007) apresenta dos componentes são:

“Erro aleatório é o resultado de uma medição menos a média que resultaria de um infinito número de medições do mesmo mensurando, efetuadas sob condições de

repetitividade”.

“Erro sistemático é a média que resultaria de um infinito número de medições do mesmo mensurando, efetuadas sob condições de repetitividade, menos o valor verdadeiro do mensurando”.

O GUM faz algumas considerações sobre as componentes, para compreender a influência, diferença, origem e como tratá-las. Para o erro aleatório (GUM, 2003):

“O erro aleatório se origina de variações temporais ou espaciais, estocásticas ou imprevisíveis, de grandezas de influência. Os efeitos de tais variações, denominados de efeitos aleatórios, são a causa de variações em observações repetidas do mensurando”.

Nesta definição foi apresentado o conceito de efeitos aleatórios, que tem origem da média de uma série de observações provando um afastamento em relação a média. Assim pode-se distinguir os conceitos de erro e incerteza, sendo o primeiro o “resultado de uma medição menos o valor verdadeiro do mensurando”(VIM, 2007), enquanto que o segundo é a falta de conhecimento exato do valor verdadeiro do mensurando.

Erros aleatórios originados desse efeito não podem ser conhecidos, desta forma não é possível compensá-los em um resultado de medição, mas normalmente pode-se reduzi-lo aumentando o número de observações.

Para o erro sistemático tem-se que (GUM, 2003):

“O erro sistemático, como o erro aleatório não pode ser eliminado, porém ele também, frequentemente, pode ser reduzido. Se um erro sistemático se origina de um efeito reconhecido de uma grandeza de influência em um resultado de medição, daqui pra diante denominado como efeito sistemático, o efeito pode ser quantificado e, se for significativo com relação à exatidão requerida da medição, uma correção ou fator de correção pode ser aplicado para compensar o efeito”.

O efeito sistemático é denominado de tendência ou efeito de tendência. Diferentemente do erro aleatório, o erro sistemático é independente do número de medições realizadas, ou seja, não será reduzido com o aumento de medições analisadas. E assim como o efeito aleatório, o efeito sistemático também não pode ser exatamente conhecido.

Para medições realizadas sob mesmas condições, o efeito de tendência poderia ser considerado constante para todas essas medições, porém as contribuições de tendência variam com o tempo, logo para cada valor distinto do mensurando é possível obter um valor diferente para o erro sistemático. Normalmente estes podem ser causados por instrumentos que sofrem desgaste com o tempo, inadequado conhecimento e controle das condições de teste, problemas de ajustes ou desgaste do sistema de medição e fatores externos como as condições ambientais.

Desta forma, a avaliação dos erros sistemáticos por meio experimental torna-se mais difícil quando envolve a variação do tempo. Erros do observador ou por alterações nas condições operacionais são provavelmente fáceis de identificar, mas qualquer avaliação experimental de erro sistemático pode envolver uma mudança completa de equipamentos, que naturalmente não é viável. A alternativa para a experimentação é fazer uma avaliação subjetiva com base na experiência e conhecimento dos instrumentos envolvidos (API MPMS 13.1, 2002).

Assim o resultado de uma medição será relatado somente após a correção dos efeitos sistemáticos reconhecidos e ainda assim continua sendo uma estimativa do valor do mensurando, pois existe incertezas advindas dos efeitos aleatórios além da correção imperfeita do resultado para os efeitos sistemáticos (GUM, 2003). Um efeito sistemático não reconhecido se levado em consideração na avaliação da incerteza do resultado de uma medição contribui para o seu erro.

De acordo com o GUM (2003), existem várias fontes de incertezas em uma medição, são elas:

- Definição incompleta do mensurando;
- Realização imperfeita da definição do mensurando;
- Amostragem não representativa - a amostra medida pode não representar o mensurando definido;
- Conhecimento inadequado dos efeitos das condições ambientais sobre a medição ou medição imperfeita das condições ambientais;
- Erro de tendência pessoal na leitura de experimentos analógicos;
- Resolução finita do instrumento ou limiar de mobilidade;
- Valores inexatos dos padrões de medição e materiais de referência;
- Valores inexatos de constantes e de outros parâmetros obtidos de fontes externas e usados no algoritmo de redução de dados;
- Aproximações e suposições incorporadas ao método e procedimento de medição;

- Variações nas observações repetidas do mensurando sob condições aparentemente idênticas;

Com a dificuldade e complexidade para expressar a incerteza, e com a falta de consenso internacional sobre a expressão da incerteza em medição, em 1977, o Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM), solicitou ao Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM), que em conjunto com os laboratórios padrões internacionais, tratassem e fizessem recomendações para expressar a incerteza da medição. Em 1980 o grupo de trabalho sobre a declaração de incertezas elaborou a recomendação INC-1, mais tarde em 1981 o CIPM aprovou esta recomendação.

Esta recomendação indica que os componentes da incerteza devem ser agrupados em duas categorias: avaliada por métodos estatísticos (avaliação da incerteza do tipo A) e aquela que será avaliada por outros meios, que não pela análise estatística (avaliação da incerteza tipo B).

Os dois tipos de avaliações são baseados em distribuições de probabilidade e os componentes da incerteza resultante de cada tipo são quantificados por variâncias ou desvios padrões (GUM, 2003).

Assim, a caracterização de cada componente da incerteza passa ser obtida através da caracterização da função densidade de probabilidade derivada da observação de uma distribuição de frequência, para o caso da incerteza tipo A, e para uma suposta função densidade de probabilidade, baseada no grau de credibilidade de que um evento vá ocorrer, frequentemente chamada probabilidade subjetiva, para a incerteza tipo B.

4.4.1 Avaliando a Incerteza Padrão

Já definido anteriormente, a incerteza é uma estimativa do valor do mensurando ou também a falta de conhecimento daquele. Na verificação do correto funcionamento de um sistema de medição é observada a variabilidade experimentalmente de seus valores de saída, conforme medido pelo seu desvio padrão observado e comparado com o desvio padrão previsto, este obtido pela combinação de vários componentes da incerteza que caracterizam a medição.

Assim o mensurando Y é determinado por meio de N outras grandezas que estão relacionados por uma função f , dado por:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (4.1)$$

Para uma estimativa do mensurando Y , representado por y , é obtida pela Equação (4.1) usando estimativas de entrada $x_1, x_2, \dots, x_N$ para os valores N grandezas $X_1, X_2, \dots, X_N$. Logo, o resultado da medição, é dada por:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (4.2)$$

A função f é interpretada como sendo a função que contém todas as grandezas, ou seja, deve incluir todas as correções e fatores de correção que possam contribuir com incerteza para o resultado da medição. Caso a função f não modele a medição com o grau de exatidão requerida, deve-se incluir grandezas de entrada na função para eliminar a inadequação.

O GUM relata que o conjunto de grandezas de entrada $X_1, X_2, \dots, X_N$ podem ser categorizados como grandezas cujos valores e incertezas podem ser diretamente determinadas na medição, ou seja, esses podem ser obtidos de uma única observação, de observações repetidas ou de julgamento baseado na experiência que podem envolver as correções de leituras de instrumentos, correções de grandezas de influência, como temperatura, pressão e umidade além de grandezas cujas são incorporadas à medição a partir de fontes externas, tais como grandezas associadas com padrões de medição calibrados, materiais de referência certificados e dados de referência obtidos de manuais técnicos.

Essa categorização que o GUM refere-se são as avaliações do tipo A e do tipo B já enunciadas anteriormente.

4.4.2 Incerteza Padrão do Tipo A

Em avaliações de distribuição de frequência dada uma variável aleatória q e para a qual n observações independentes q_k foram obtidas sob as mesmas condições de medição, a melhor estimativa da esperança ou valor esperado é obtida pela média aritmética ou média $\bar{q}$ das n observações:

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k \quad (4.3)$$

Assim, para uma grandeza de entrada X_i estimada a partir de n observações repetidas independentes $X_{i,k}$, a média aritmética de $\bar{X}_i$ obtida pela Equação (4.3) é usada como estimativa de entrada x_i na Equação (4.2) para determinar o resultado da medição y .

As variações das observações individuais q_k são devidos aos efeitos aleatórios e a variância σ^2 da distribuição de probabilidade da grandeza q é estimada pela variância experimental das observações $s^2(q_k)$, é dada por:

$$s^2(q_k) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2 \quad (4.4)$$

O desvio padrão experimental é estimada pela variância experimental (Equação (4.4)) e sua raiz quadrada positiva, que caracteriza a dispersão dos valores q_k em torno da média $\bar{q}$. Assim, a melhor estimativa da variância da média $\sigma^2(\bar{q})$ é dada pela variância experimental da média $s^2(\bar{q})$:

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s^2(q_k)}{n} \quad (4.5)$$

Tanto a variância experimental da média $s^2(\bar{q})$ quanto o desvio experimental da média $s(\bar{q})$ quantificam quão bem $\bar{q}$ estima a esperança μ_q e qualquer um pode ser usado como uma medida da incerteza de $\bar{q}$.

Portanto, para uma grandeza de entrada X_i determinada por n observações independentes e repetidas $X_{i,k}$, a incerteza padrão $u(x_i)$ de sua estimativa $x_i = \bar{X}_i$ é calculada de acordo com a Equação (4.5), onde $u^2(x_i) = s^2(\bar{X}_i)$ e $u(x_i) = s(\bar{X}_i)$, denominadas respectivamente de variância associada do Tipo A (variância do Tipo A) e uma incerteza padrão do Tipo A.

4.4.3 Incerteza Padrão do Tipo B

Para a estimativa de uma grandeza de entrada que não tenha sido obtida através de observações repetidas, a variância estimada associada $u^2(x_i)$ ou a incerteza padrão $u(x_i)$ é avaliada por julgamento científico, baseando-se em todas as informações disponíveis sobre a possível variabilidade de X_i .

Pode-se incluir nesse conjunto de informações para o julgamento científico da incerteza do tipo B os seguintes itens (GUM, 2003):

- Dados de medições prévias;
- A experiência ou o conhecimento geral do comportamento e propriedades de materiais e instrumentos relevantes;
- Especificações do fabricante;

- Dados fornecidos em certificados de calibração e outros certificados;
- Incertezas atribuídas a dados de referência extraídos de manuais.

Para o GUM, a utilização adequada das informações disponíveis para a avaliação da incerteza tipo B exige o entendimento baseado na experiência e no conhecimento geral, ou seja, habilidade essa que pode ser aprendida na prática. A avaliação da incerteza do tipo B pode ser tão confiável quanto a avaliação do tipo A, principalmente em uma medição onde a avaliação do tipo A possui pequenos números de observações estatisticamente independentes.

Se a estimativa x_i na função f , for obtida de uma especificação do fabricante, do certificado de calibração, do manual técnico ou de outra fonte, e sua incerteza citada for declarada ser um determinado múltiplo de um desvio padrão, a incerteza padrão $u(x_i)$ é simplesmente o valor mencionado dividido pelo multiplicador, e a variância estimada $u^2(x_i)$ é o quadrado do quociente.

Em algumas situações, a incerteza citada de x_i não é tida como múltiplo de um desvio padrão, mas essa define um intervalo tendo um nível de confiança, ou ainda quando não declarado de outro modo, pode-se supor que foi utilizada uma distribuição normal para calcular a incerteza citada e recuperar a incerteza padrão x_i , dividindo-se a incerteza citada pelo fator apropriado para a distribuição normal.

Para maior conveniência, $u^2(x_i)$ e $u(x_i)$ estimados por este método são referidos como uma variância do Tipo B e uma incerteza padrão do Tipo B, respectivamente.

4.4.4 Incerteza Padrão Combinada

Quando a incerteza padrão do resultado de uma medição é obtida por meio dos valores de várias outras grandezas, este resultado é denominado incerteza padrão combinada e representada por u_c , sendo igual à raiz quadrada positiva de uma soma de termos, sendo estes as variâncias e covariâncias destas outras grandezas, ponderadas de acordo com o quanto o resultado da medição varia com mudanças nestas grandezas.

Em outras palavras, a incerteza padrão de y , na qual y é a estimativa do mensurando Y , e desta maneira, o resultado da medição, é obtida pela combinação apropriada de incertezas padrão das estimativas de entrada $x_1, x_2, \dots, x_N$.

As estimativas de entrada, podem ser classificadas como grandezas:

- Estatisticamente independentes ou não correlacionadas;
- Estatisticamente dependentes ou correlacionadas.

Grandezas de Entrada não Correlacionadas

No caso em que as grandezas de entrada são ditas como independentes, a variância combinada $u_c^2(y)$ será dada por (GUM, 2003):

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) \quad (4.6)$$

onde $u(x_i)$ é uma incerteza padrão avaliada pelo tipo A ou tipo B e f é a função dada pela Equação (4.1). A incerteza padrão combinada $u_c(y)$ será a raiz positiva da variância combinada $u_c^2(y)$ e representa um desvio padrão estimado caracterizando uma dispersão dos valores que poderiam ser atribuídos ao mensurando Y .

Na Equação (4.6), as derivadas parciais $\partial f / \partial x_i$, são iguais a $\partial f / \partial X_i$ quando avaliadas para $X_i = x_i$. Essas derivadas, quando ocorrem alterações nos valores das estimativas de entrada x_i , a estimativa de saída y varia com $(\Delta y)_i = (\partial f / \partial x_i) (\Delta x_i)$.

Se esta alteração é gerada pela incerteza padrão da estimativa x_i , a variação correspondente em y é $(\Delta y)_i = (\partial f / \partial x_i) u(x_i)$. A variância combinada $u_c^2(y)$ pode ser vista como a soma de termos, onde cada um deles representa a variância estimada associada com a estimativa de saída y gerada pela variância estimada, associada com cada estimativa de entrada x_i . Essas derivadas são denominadas de coeficientes de sensibilidades (GUM, 2003) e a Equação (4.6) é dada pela seguinte forma:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N [c_i u(x_i)]^2 \equiv \sum_{i=1}^N u_i^2(y) \quad (4.7)$$

onde:

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} \quad ; \quad u_i(y) \equiv |c_i| u(x_i) \quad (4.8)$$

Os coeficientes de sensibilidade em vez de serem calculados pela função f , podem ser determinados experimentalmente medindo-se a variação de Y causada pela variação em um dado X_i enquanto se mantêm constantes as grandezas de entrada restantes.

Para o caso do mensurando Y ter a forma $Y = cX_1^{p_1}cX_2^{p_2} \dots cX_N^{p_N}$, os expoentes p_i são números positivos ou negativos conhecidos, tendo incertezas desprezíveis, a variância combinada, Equação (4.6), pode ser expressa por:

$$\left[\frac{u_c(y)}{y} \right]^2 = \sum_{i=1}^N \left[p_i \frac{u(x_i)}{x_i} \right]^2 \quad (4.9)$$

As Equações (4.7) e (4.9) apresentam a mesma forma, diferenciado apenas que a segunda equação expressa a variância combina $u_c^2(y)$ como uma variância combinada relativa $[u_c(y)/y]^2$ e a variância estimada de entrada expressa como variância relativa estimada $[u_c(x_i)/x_i]^2$, assim a incerteza padrão combinada relativa é $[u_c(y)/|y|]$, enquanto que a incerteza padrão relativa de cada estimativa de entrada é dada por $[u_c(x_i)/|x_i|]$, sendo que $|y| \neq 0$ e $|x_i| \neq 0$.

Grandezas de Entrada Correlacionadas

Quanto as grandezas de entrada correlacionadas ou dependentes, a expressão apropriada para a variância combinada $u_c^2(y)$, associada com o resultado de uma medição é (GUM, 2003):

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i, x_j) \quad (4.10)$$

onde x_i e x_j são as estimativas X_i e X_j e $u(x_i, x_j) = u(x_j, x_i)$ é a covariância estimada, associada com x_i e x_j .

O grau de correlação entre x_i e x_j é caracterizado pelo coeficiente de correlação estimado por:

$$r(x_i, x_j) = \frac{u(x_i, x_j)}{r(x_i) r(x_j)} \quad (4.11)$$

onde $r(x_i, x_j) = r(x_j, x_i)$ e $-1 \leq r(x_i, x_j) \leq +1$. Caso x_i e x_j sejam estimativas independentes, $r(x_i, x_j) = 0$.

O GUM (2003) define covariância de variáveis aleatórias como uma medida de dependência mútua. E pode ser estimada, segundo ISO 3534-1 (1993), por $s(y_i, z_i)$, obtida a partir de n pares independentes de observações simultâneas y_i, z_i de y e z , conforme a equação abaixo:

$$s(y_i, z_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(z_i - \bar{z}) \quad (4.12)$$

onde

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad ; \quad \bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i \quad (4.13)$$

As grandezas de entradas entre o comprimento e o tempo possuem uma dependência entre si, porém não expressiva, e por este motivo são tratadas neste trabalho como grandezas independentes.

4.4.5 Lei de Propagação da Incerteza

As Equações (4.6) e (4.10), para grandezas de entrada independentes e dependentes respectivamente, expressam o que é denominado como a lei de propagação da incerteza. De acordo com Ribeiro (2010), a incerteza se propaga de modo diferente em função da relação matemática que define o mensurando.

Mendes e Rosario (2005) abordam o assunto para a propagação das incertezas prováveis em operações na soma e na subtração dos componentes da incerteza proveniente dos resultados de medições diretas e do mesmo modo nas operações de multiplicação e divisão. A regra básica, também relatada por Ribeiro (2010), que simplifica os cálculos e não requer uso de derivadas parciais e coeficientes de sensibilidade são:

- Na soma e subtração, as incertezas se propagam pela soma das incertezas absolutas (ou incertezas padrão);

$$u_c = \sqrt{u(x_1)^2 + u(x_2)^2 + u(x_3)^2} \quad (4.14)$$

- Na multiplicação e divisão, as incertezas se propagam pela soma das incertezas relativas.

$$\frac{u_c}{\sum_{i=1}^3 \bar{X}_i} = \sqrt{\left(\frac{u(x_1)}{\bar{X}_1}\right)^2 + \left(\frac{u(x_2)}{\bar{X}_2}\right)^2 + \left(\frac{u(x_3)}{\bar{X}_3}\right)^2} \quad (4.15)$$

A soma das incertezas pode ser feita por duas formas distintas, dependendo das incertezas serem dependentes ou independentes.

- Para a soma das incertezas dependentes a soma das incertezas é direta;
- Para a soma das incertezas independentes a soma das incertezas é feita pela raiz quadrada da soma dos quadrados.

4.4.6 Incerteza Padrão Expandida

Como foi visto anteriormente, a incerteza combinada é usada para expressar a incerteza de um resultado de medição, mas algumas áreas como a indústria, comércio, saúde e segurança necessitam apresentar uma medida de incerteza que atribua um intervalo sobre o resultado de medição no qual abrange uma fração da distribuição dos valores, que podem ser razoavelmente atribuídos para um mensurando, denominada de incerteza expandida U .

Para se obter a incerteza expandida, multiplica-se a incerteza padrão combinada u_c por um fator de abrangência k , afim de fornecer um intervalo em torno do resultado de uma medição.

$$U = k \times u_c(y) \quad (4.16)$$

Para grandes números de amostras e supondo uma distribuição normal, o valor do fator de abrangência k gera um intervalo de confiança tendo um nível de confiança p de acordo com a Tabela 4.1:

Tabela 4.1: Fator de abrangência

Nível de Confiança p (%)	Fator de Abrangência k
68,27	1,000
90,00	1,645
95,00	1,960
95,45	2,000
99,00	2,576
99,73	3,000

Fonte: GUM (2003)

No caso de tamanho de amostras menores do que 30, utiliza-se a distribuição de t-Student, ampliando um fator de correção para aproximar a distribuição analisada a uma distribuição normal (Mendes e Rosario, 2005).

Para determinar o fator de correção da distribuição t-Student, é necessário definir o número de graus de liberdade dado por:

$$\nu = n - 1 \quad (4.17)$$

Para várias fontes de incertezas utilizadas para estimar a incerteza padrão combinada, o número

de graus de liberdade deve ser estimado a partir das informações de cada fonte de incerteza. De acordo com Mendes e Rosario (2005), recomenda-se a utilização da equação de Welch-Satterhwaite para estimar o número de graus de liberdade efetivos ν_{eff} :

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}} \quad (4.18)$$

Por meio da Tabela 4.2, obtém-se o fator de correção $t(\nu)$, utilizando-se o nível de confiança desejado com o grau de liberdade.

Para se obter a incerteza expandida pela distribuição de t-Student, multiplica-se a incerteza padrão combinada u_c por um fator de correção $t(\nu)$, afim de fornecer um intervalo em torno do resultado de uma medição.

$$U = t(\nu) u_c(y) \quad (4.19)$$

Determinado U , o resultado de uma medição do mensurando Y será expresso como:

$$Y = y \pm U \quad (4.20)$$

No qual o intervalo $y - U$ a $y + U$ espera abranger uma fração da distribuição de valores que podem ser atribuídos a Y .

Tabela 4.2: Fator de correção da distribuição t-Student

Graus de Liberdade $v = n - 1$	Fração p (%)					
	68,27	90,00	95,00	95,45	99,00	99,73
1	1,84	6,31	12,71	13,97	63,66	235,80
2	1,32	2,92	4,30	4,53	9,92	19,21
3	1,20	2,35	3,18	3,31	5,84	9,22
4	1,14	2,13	2,78	2,87	4,60	6,62
5	1,11	2,02	2,57	2,65	4,03	5,51
6	1,09	1,94	2,45	2,52	3,71	4,90
7	1,08	1,89	2,36	2,43	3,50	4,53
8	1,07	1,86	2,31	2,37	3,36	4,28
9	1,06	1,83	2,26	2,32	3,25	4,09
10	1,05	1,81	2,23	2,28	3,17	3,96
11	1,05	1,80	2,20	2,25	3,11	3,85
12	1,04	1,78	2,18	2,23	3,05	3,76
13	1,04	1,77	2,16	2,21	3,01	3,69
14	1,04	1,76	2,14	2,20	2,98	3,64
15	1,03	1,75	2,13	2,18	2,95	3,59
16	1,03	1,75	2,12	2,17	2,92	3,54
17	1,03	1,74	2,11	2,16	2,90	3,51
18	1,03	1,73	2,10	2,15	2,88	3,48
19	1,03	1,73	2,09	2,14	2,86	3,45
20	1,03	1,72	2,09	2,13	2,85	3,42
25	1,02	1,71	2,06	2,11	2,79	3,33
30	1,02	1,70	2,04	2,09	2,75	3,27
35	1,01	1,70	2,03	2,07	2,72	3,23
40	1,01	1,68	2,02	2,06	2,70	3,20
45	1,01	1,68	2,01	2,06	2,69	3,18
50	1,01	1,68	2,01	2,05	2,68	3,16
100	1,01	1,66	1,98	2,03	2,63	3,08
infinito	1,00	1,64	1,96	2,00	2,58	3,00

Fonte: GUM (2003)

Capítulo 5

Projeto do *Pipe Prover*

O *pipe prover* utilizado neste trabalho foi projetado e construído por Lavezzo em 2010. Por existir vários tipos de *pipe prover*, a escolha do projeto a ser desenvolvido por ele, foi baseado nas seguintes premissas:

- Vantagens na avaliação da incerteza;
- Facilidade de construção e operação;
- Custo do projeto e disponibilidade comercial;
- Limitação espacial do laboratório.

Seguindo as recomendações da norma ISO 7278-2 e as premissas estabelecidas, o *pipe prover* bidirecional com deslocador tipo esfera foi adotado, anteriormente descartado devido ao alto custo da válvula de reversão de escoamento ou válvula de quatro vias. A solução encontrada para a substituição dessa por uma de baixo custo foi a utilização de quatro válvulas globo ordinárias operadas simultaneamente por uma alavanca.

O modelo do provador bidirecional é composto pelos seguintes componentes, como demonstrado na Figura 5.1.

1. Tanque de água (reservatório);
2. Medidor tipo turbina, modelo TVT-L Ø 3/4, fabricante Tecnofluid;
3. Conjunto moto bomba centrífuga;
4. Arranjo de válvulas de esfera para reversão do escoamento (válvula de quatro vias);

5. Válvulas para operação e manutenção do provador;
6. Provador em PVC Ø 60mm e 12m de comprimento (considerando os dois ramos e a curva);
7. Sensores óticos infravermelhos;
8. Computador (interligação turbina e sensores) - banco de dados;
9. Manômetros de registro de pressão;
10. Termopares tipo K;
11. Válvulas de purga de ar e de drenagem;
12. Mangueiras de borracha.

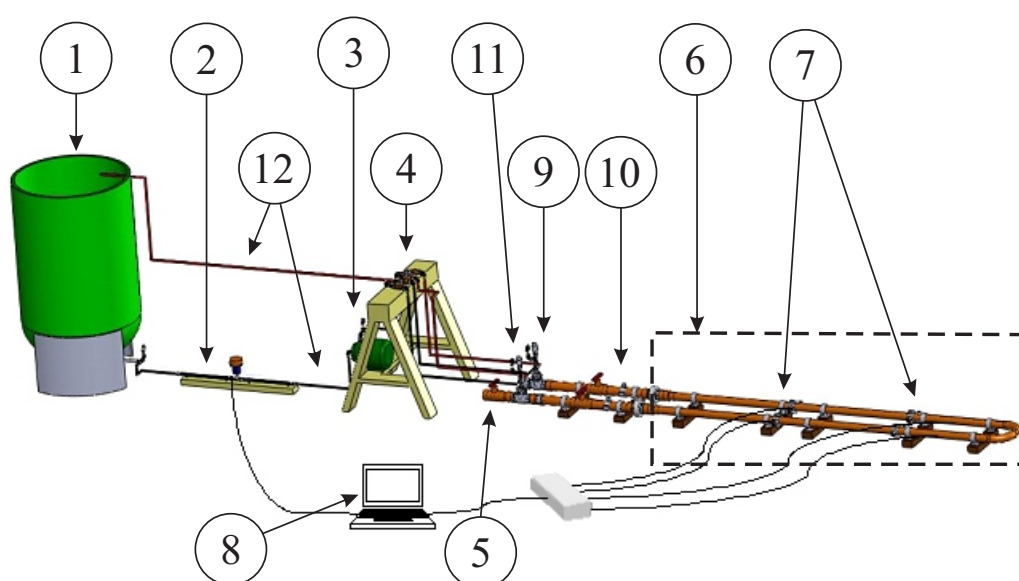


Figura 5.1: Principais componentes do provador *Pipe Prover*.

Fonte: Lavezzo (2010)

5.1 Detalhes de Construção

Alguns equipamentos e sistemas utilizados para o correto funcionamento do provador são descritos a seguir.

5.1.1 Sistema de Bombeamento

O sistema de bombeamento é composto por uma bomba do tipo centrífuga fabricada por Zimmerman, com potência de $1/4\text{ cv}$ (cavalo vapor) equivalente a $183,88\text{ W}$ (*Watts*). Encontra-se instalada entre o medidor mestre (medidor tipo turbina) e a válvula de reversão de escoamento. A principal função da bomba é fornecer energia para o sistema a fim de realizar o deslocamento da esfera no provador. As condições de operação da bomba: pressão e vazão, estão definidas no trabalho de Lavezzo (2010).

5.1.2 Cavalete de Comando

O cavalete de comando (Figura 5.2) é a estrutura onde se encontra a válvula de reversão do escoamento e o sistema de bombeamento além de ser o local em que o operador realiza as manobras para operação do provador, bem como o controle da vazão.

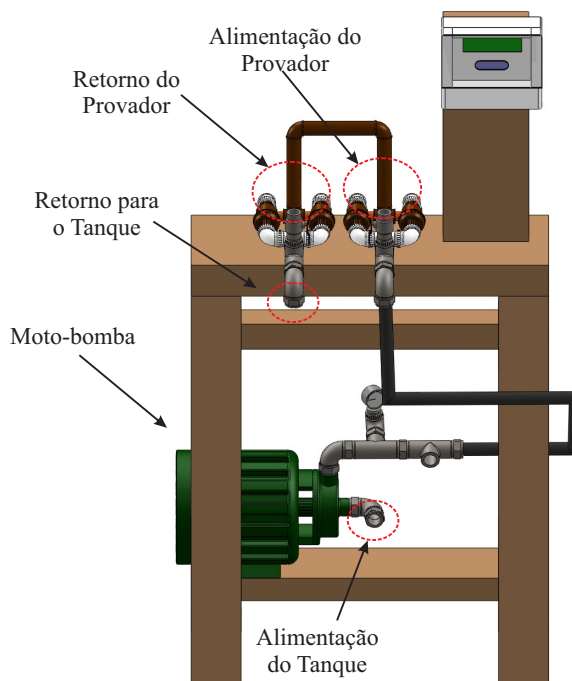


Figura 5.2: Detalhe do cavalete de comandos.

Fonte: Lavezzo (2010)

5.1.3 Válvula de Reversão do Escoamento

A válvula de reversão de escoamento também conhecida por válvula de quatro vias, tem a função de mudar o sentido do escoamento no provador. A válvula de quatro vias empregada nos provadores bidirecionais possui quatro entradas e uma aleta móvel que é utilizada para direcionar o escoamento.

O funcionamento é baseado na entrada do escoamento no sistema através de uma das vias, enquanto que a outra via é destinada para o retorno do escoamento do sistema, as duas vias restantes são conectadas ao provador e quando acionada a válvula, ocorre a inversão do sentido do escoamento (Figura 5.3).

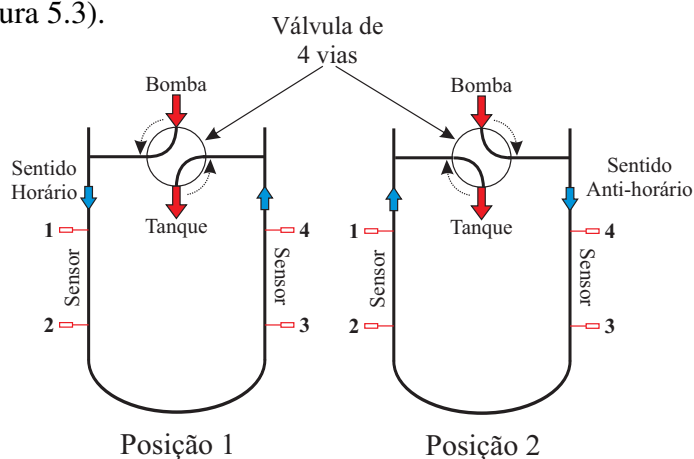


Figura 5.3: Funcionamento da válvula de quatro vias.

Como relatado anteriormente, a válvula de reversão de escoamento possui alto custo e para viabilizar o projeto foi necessário a construção de um arranjo de quatro válvulas esferas, como demonstrado na Figura 5.4.

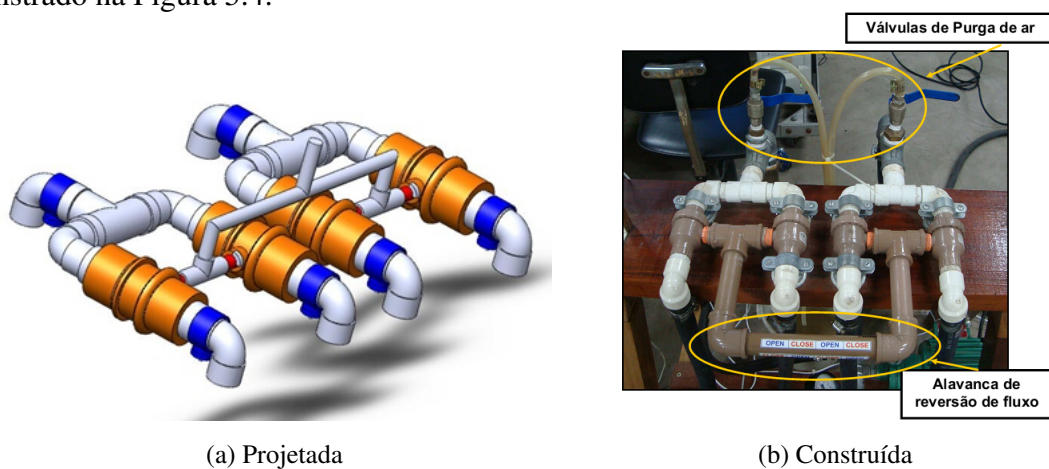
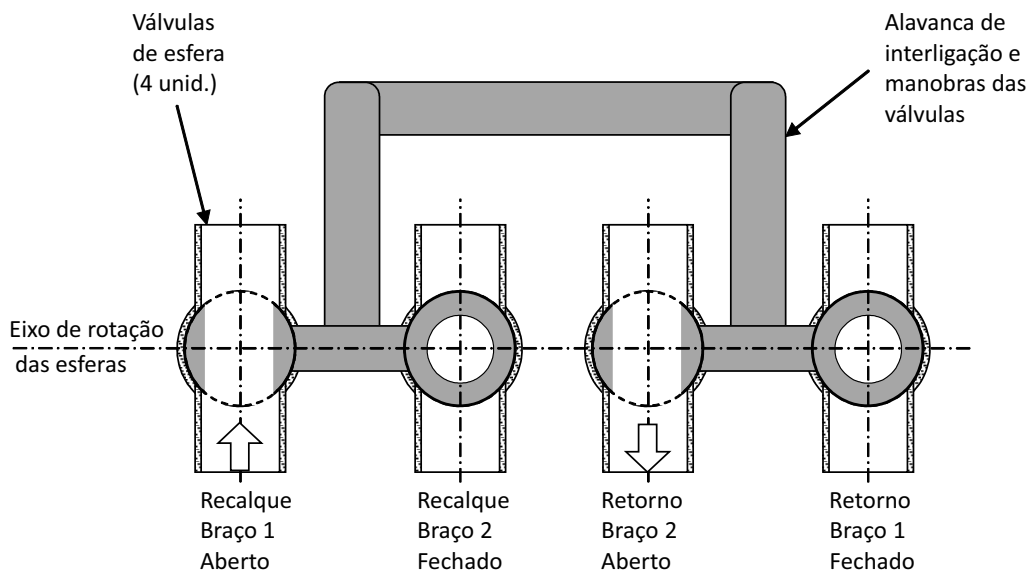


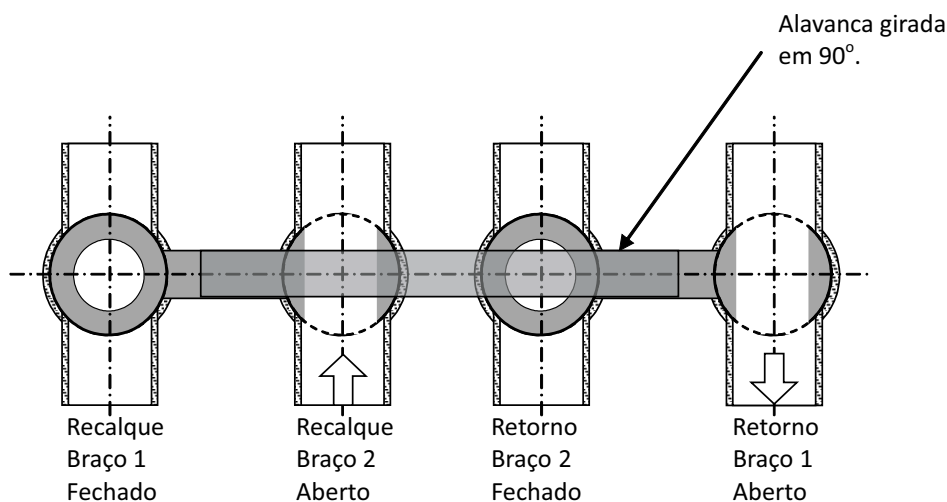
Figura 5.4: Arranjo de válvula para reversão do escoamento.

Fonte: Lavezzo (2010)

Essas válvulas foram interligadas duas a duas e em posições ortogonais de maneira que enquanto uma está aberta à outra permanece fechada. Uma alavanca está instalada para que possa acionar todas as válvulas de forma sincronizada (Figura 5.5).



(a) Posição de alimentação do braço 1 e retorno no braço 2.



(b) Posição de alimentação do braço 2 e retorno no braço 1.

Figura 5.5: Montagem e operação do conjunto de válvulas de 4 vias.

Fonte: Lavezzo (2010)

5.1.4 Provador

O provador é constituído de uma tubulação em forma de “U” de PVC (Policloreto de Vinila), com diâmetro interno médio de 53,00 mm. Para se obter o diâmetro interno médio, Lavezzo (2010) realiza 10 medições com instrumentos calibrados a uma temperatura média de 30 °C.

Ao longo do tubo encontra-se os sensores óticos distribuídos de forma equidistantes na seguinte sequência (sentido anti-horário): sensor 1 (S1), sensor 2 (S2), sensor 3 (S3) e sensor 4 (S4). O comprimento projetado do provador entre o S1 e o S4 é de nove metros e sub-dividido em trechos de três metros.

O provador possui quatro trechos para avaliação, são eles: S1-S2, S2-S3, S3-S4 e a somatória de todos os trechos (S1-S4) (Figura 5.6), sendo o trecho S2-S3 um trecho de curva para verificação da influência desta na incerteza e o trecho bidirecional é formado pela soma dos trechos de ida (S1-S4) e retorno (S4-S1).

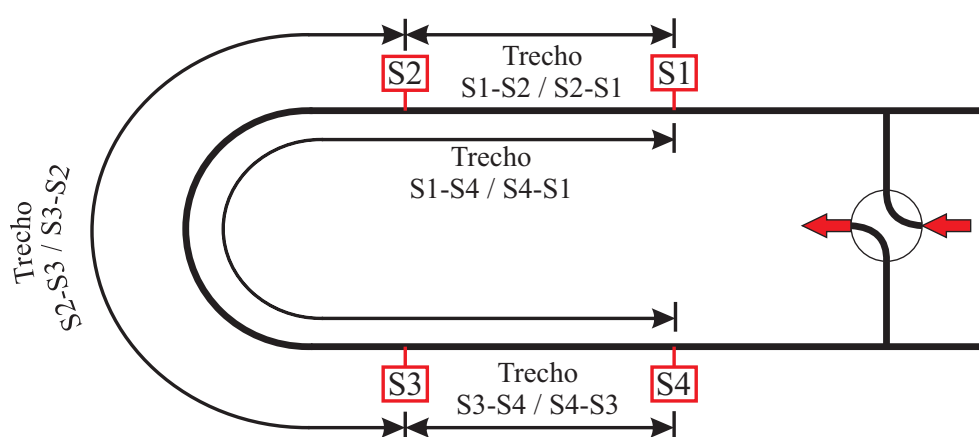


Figura 5.6: Trechos do provador.

5.1.5 Sensores Óticos

O sistema de sensoriamento por infra vermelho, assim como o sistema automático de aquisição de dados foi concebido, projetado e construído especialmente para aplicação nesse protótipo. Os sensores óticos formam um conjunto de emissor-receptor, sendo que o emissor (TSAL 6100) emite um sinal com comprimento de onda do espectro infravermelho que sensibiliza o receptor (TEFT 4300) e a recepção do sinal infravermelho é interrompido quando a esfera passa entre ambos. Por problemas encontrados na detecção das esferas, os sensores utilizados por Lavezzo (2010), emissor (LD 271) e receptor (TIL 78), foram trocados. O conjunto é fixado ao longo do provador, igualmente espaçado, por meio das peças de fixação chamadas de colar de tomada (Figura 5.7).

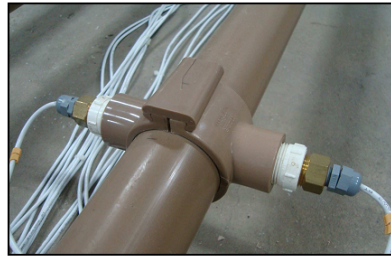


Figura 5.7: Sensor ótico montado no colar de tomada.

O colar de tomada é instalado de forma que o emissor-receptor estejam alinhados. Para isso, deve-se seguir a ordem de instalação dos componentes, como demonstrado na Figura 5.8, para assegurar a fixação com o alinhamento, linha de visada e vedação apropriados.

1. Anel de vedação (*O'Ring*);
2. Janela circular de vidro;
3. Centralizador;
4. *Cap* roscável;
5. Prensa-cabo;
6. Sensor ótico.

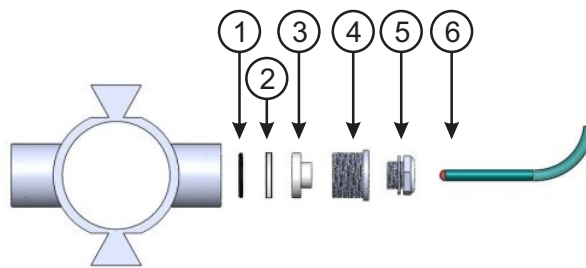


Figura 5.8: Detalhes de instalação do sensor ótico.

Fonte: Lavezzo (2010)

5.1.6 Sistema de Aquisição de Dados

O sistema de aquisição de dados é composto por um módulo eletrônico construído especificamente para o *pipe prover* que utiliza um microcontrolador PIC18F452, fabricado pela Microchip. Esse é responsável pelas seguintes funcionalidades:

- Contagem do tempo;

- Contagem de pulsos do medidor tipo turbina;
- Detecção da esfera nos quatro pontos definidos;
- Armazenamento dos dados em memória não-volátil.

O microcontrolador executa um programa (*firmware*), desenvolvido em linguagem C, que realiza as atividades descritas acima, e a execução desse ocorre a uma velocidade que depende da oscilação de um cristal de quartzo o qual é ligado externamente ao microcontrolador. O cristal de 10 MHz de frequência de ressonância implica em uma base de tempo de $0,1\text{ }\mu\text{s}$ ($0,1 \times 10^{-6}\text{ s} = 1/10\text{ MHz}$), que define o incremento dos contadores de tempo e da execução de uma instrução básica do programa. A Figura 5.9 demonstra a arquitetura do sistema:

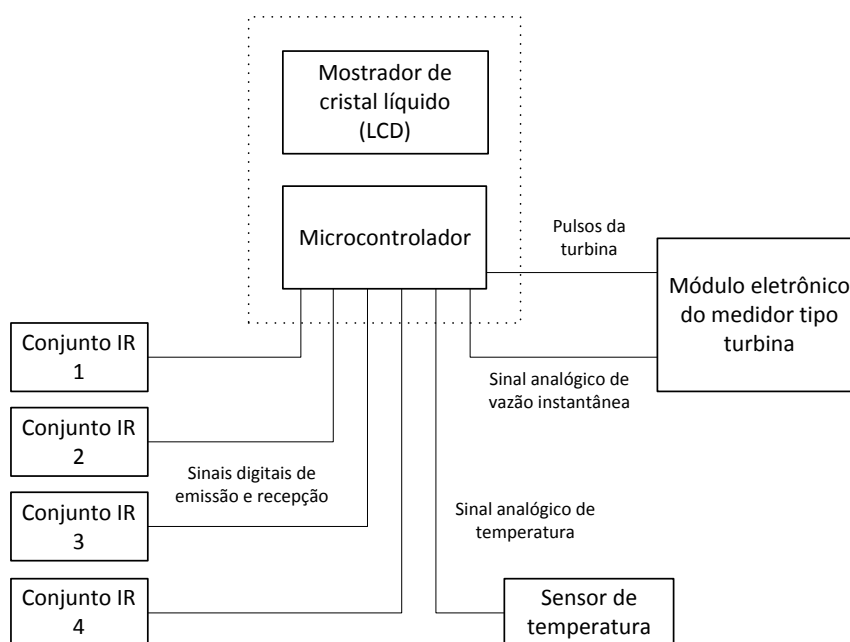


Figura 5.9: Arquitetura do sistema.

O microprocessador é o responsável por controlar a emissão e fazer a leitura do receptor. O registro do tempo ocorre no primeiro pulso de detecção, mas a validação somente ocorre no terceiro pulso consecutivo válido, ou seja, ao detectar um obstáculo (esfera), o tempo do contador é registrado, mas armazenado somente caso se detecte a interrupção do sinal infravermelho por três pulsos consecutivos. A Figura 5.10 demonstra o formato do sinal do emissor.

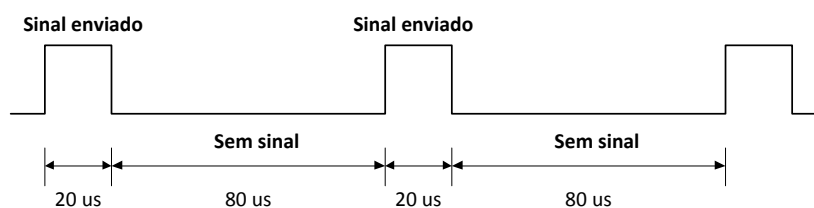


Figura 5.10: Croqui dos sinais enviados.

Fonte: Lavezzo (2010)

Para o pior caso, uma esfera pode ser detectada com um atraso de $80,5 \mu s$, correspondente ao período sem sinal e à execução das instruções do programa do microcontrolador antes da detecção. Os pulsos da turbina e de tempo podem ser contados de duas formas:

Contagem Relativa de Pulsos Inteiros

O pulso inteiro tem a forma de onda que corresponde a um período completo, como mostrado na figura abaixo:

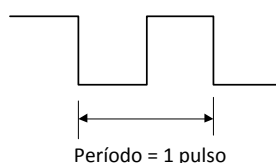


Figura 5.11: Croqui de pulso inteiro.

Fonte: Lavezzo (2010)

Na Figura 5.12 mostra o exemplo da contagem do número de pulsos em dois trechos: entre 1 e 2 (2 pulsos inteiros) e entre 1 e 3 (6 pulsos inteiros).

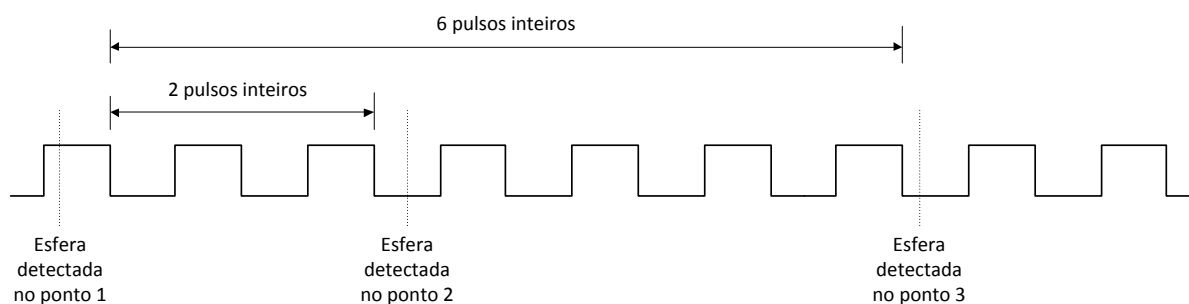


Figura 5.12: Exemplo de contagem de pulsos inteiros.

Fonte: Lavezzo (2010)

Assim, a contagem de tempo corresponde ao tempo do número de pulsos inteiros, enquanto que o contador do tempo incrementa a cada $0,4 \mu s$ e a incerteza no início e no término da contagem está relacionada com a incerteza na detecção da esfera.

Contagem Estimada do Número de Pulsos Total

A contagem de tempo refere-se a todo o trecho entre os sensores de detecção da esfera. O contador de tempo é iniciado no instante em que a esfera é detectada no primeiro conjunto emissor-receptor do caminho (conjunto 1, caso seja o caminho anti-horário ou conjunto 4, caso seja o caminho horário - Figura 5.6) e paralisado no final do caminho e para os conjuntos intermediários, o valor do contador de tempo também é registrado.

A Figura 5.13 mostra um exemplo considerando o caminho anti-horário em que a contagem de tempo é iniciada assim que a esfera é detectada no conjunto 1, enquanto no conjunto 2, ao ser detectada, o valor do contador de tempo é armazenado e o contador não é interrompido. O mesmo acontece quando a esfera é detectada no conjunto 3.

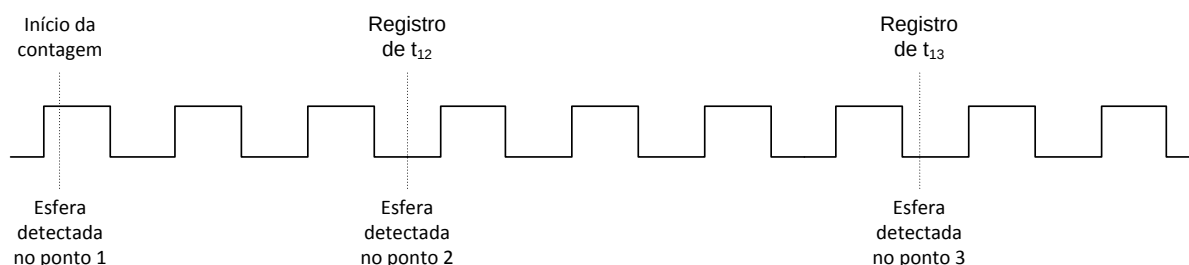


Figura 5.13: Contagem de Tempo.

Fonte: Lavezzo (2010)

Da mesma forma utilizada na contagem de pulsos inteiros, o contador do tempo incrementa a cada $0,4 \mu s$ e a incerteza no início e no término da contagem está relacionada com a incerteza na detecção da esfera.

A contagem estimada de pulsos considera os pulsos inteiros além de parte de pulsos, resultando em um número com casas decimais. Na figura abaixo, seria considerado como sendo 2 pulsos inteiros pela primeira forma de contagem e para a contagem estimada é processado da seguinte forma:

Pulsos estimados = $(75\% + 100\% + 100\% + 100\% + 100\% + 50\%)/(200\%) = 2,625$ pulsos.

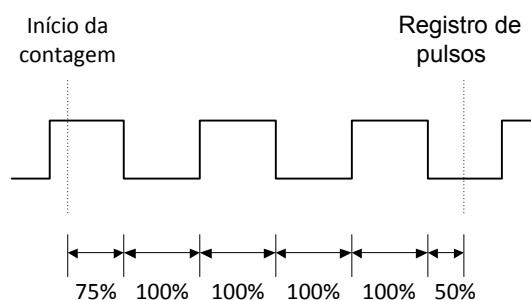


Figura 5.14: Pulsos processados.

Fonte: Lavezzo (2010)

Os 200 % mostrado no denominador, corresponde à representação de um pulso inteiro e neste algoritmo, considera-se que os pulsos possuem o mesmo tamanho.

Os sensores óticos de luz infravermelho estão sendo testados para fluidos transparentes, por não oferecer obstáculo ou a interferência dos interruptores na detecção da esfera, fazendo com que a incerteza na detecção seja menor quando comparado aos interruptores utilizados tipicamente em provadores e que concorrem significativamente para o aumento da incerteza da medição.

5.1.7 Cavalete de Válvulas (*Manifold*)

O cavalete de válvulas encontra-se instalado entre o retorno da válvula de quatro vias (válvula de reversão do escoamento) e o tanque (Figura 5.15). O conjunto é formado por três tipos de válvulas:

- Válvula globo;
- Válvula reguladora de pressão;
- Válvula de três vias.

A principal função da válvula de três vias é a mudança da direção do escoamento para a balança para realização do método gravimétrico, enquanto que a válvula reguladora de pressão controla a pressão do sistema, permitindo a realização de testes com diferentes níveis de pressão no provador.

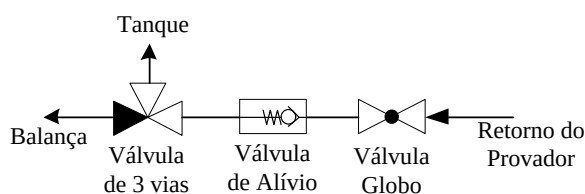


Figura 5.15: Caveleto de Válvulas.

5.1.8 Válvulas Operacionais e Sistema de Alimentação do Provador

O sistema de vedação do provador é composto de três válvulas de esferas com diâmetro interno de $\varnothing 75 \text{ mm}$. Uma válvula de esfera tem a função de proporcionar a inserção ou retirada da esfera de elastômero do provador. As outras duas válvulas estão situadas entre a união que conecta o provador e o sistema de alimentação (Figura 5.16). A função dessas é permitir o isolamento do líquido contido no provador para o caso da necessidade de manutenção no sistema de alimentação.

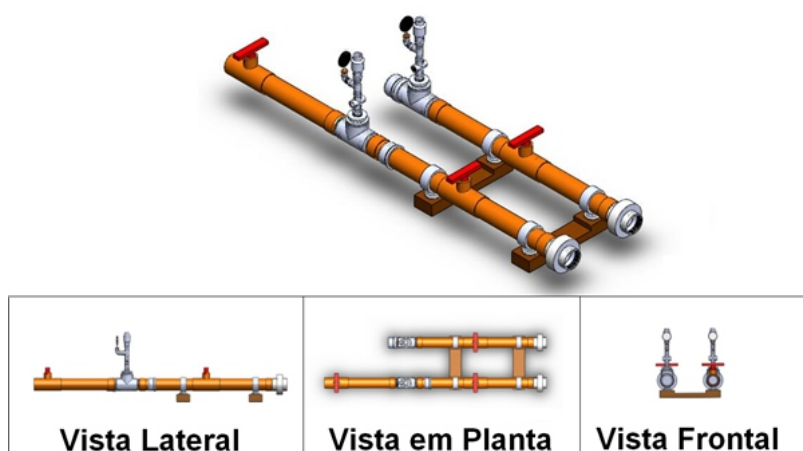


Figura 5.16: Sistema de alimentação do provador.

O sistema de alimentação do provador é conectado à válvula de reversão de escoamento por meio de quatro mangueiras, cada braço com duas mangueiras que estão combinadas de tal modo que operam de forma alternada, ou seja, no momento que uma está aberta a outra se encontra fechada. Desta forma, o líquido é direcionado a um braço do provador, sendo obrigado a percorrer todo o provador para retornar para a válvula de reversão de escoamento pelo outro braço. Quando realizado a manobra de reversão de escoamento, o líquido percorre o provador no sentido invertido. De forma análoga ocorre com a esfera de elastômero, ou seja, essa completa o

percurso no provador em um sentido de escoamento, quando ocorre a manobra de reversão de escoamento, a esfera de elastômero percorre o percurso contrário, realizando um ciclo.

5.1.9 Turbina

O medidor de vazão tipo turbina é usado como referência dos testes experimentais. O modelo utilizado é o TVT-L (Figura 5.17), produzido pela TecnoFluid do Brasil LTDA (2008) para medições em linha. A turbina é composta por um rotor com um sistema de palhetas fixas que estão suspensas livremente sobre um eixo horizontal no sentido do fluido.



Figura 5.17: Medidor tipo turbina em linha.

Fonte: TecnoFluid do Brasil LTDA (2008).

Um filtro foi instalado antes da turbina para evitar que impurezas contaminassem o sistema.

5.1.10 Esferas de Elastômero

As esferas selecionadas para o experimento (Figura 5.18) são de material elastômero, preenchidas com o fluido de trabalho e de acordo com as recomendações da norma ISO 7278-2 (1988) devem ter diâmetro 2 % superior ao diâmetro interno do provador.

Valores menores de interferência podem levar a vazamento de líquido entre a esfera e parede interna do provador e valores maiores de interferência podem não melhorar as condições de estanqueidade, elevar a perda de carga e causar maiores desgastes, danificando também a circularidade da esfera devido seu movimento.



Figura 5.18: Esferas de elastômero.

A análise dimensional das esferas segundo um estudo quantitativo leva a uma classificação baseada nas observações das variâncias e dos desvios padrão do diâmetro de cada esfera em relação ao diâmetro do provador. Para obtenção do diâmetro das esferas, foram traçados cinco planos e calculada a média aritmética (Tabela 5.1).

Tabela 5.1: Análise dimensional das esferas.

Esfera	Diâmetro Médio da Esfera (mm)	Interferência da esfera no tubo (%)
A	55,83	5,34
B	55,83	5,33
2	53,23	0,43
3	54,01	1,90
4	54,23	2,32
5	53,99	1,88
6	53,54	1,02
7	53,99	1,87

5.2 Funcionamento do Provador

O provador bidirecional, é alimentado por um reservatório (tanque), que é ligado a um medidor do tipo turbina e esse a uma bomba centrífuga. O fluido então é enviado a válvula de reversão do escoamento que distribui o fluido dentro do provador. Na sequência, o fluido deslocará a esfera pelo provador, passando pelos detectores óticos até retornar para a válvula de reversão de escoamento e depois para o reservatório (Figura 5.19).

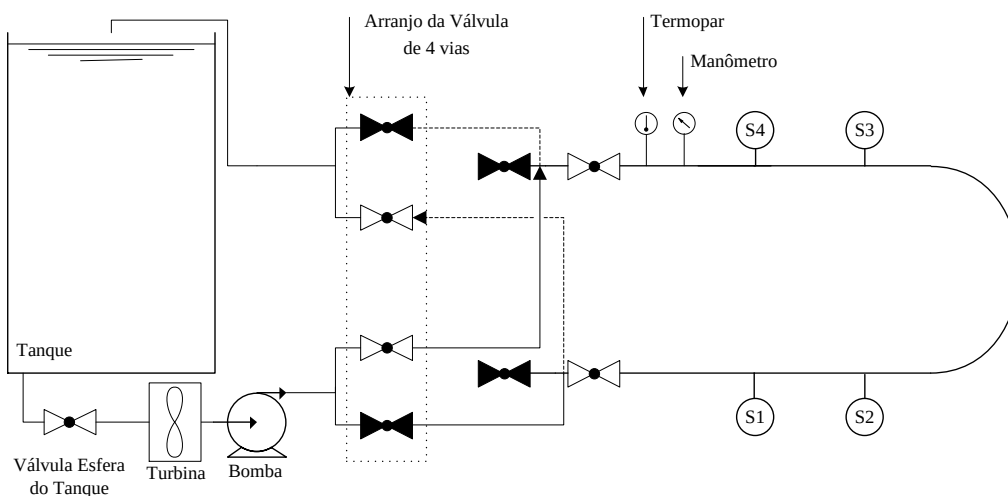


Figura 5.19: Croqui do teste de reprodutibilidade.

Na aplicação do método gravimétrico é necessário o acoplamento do cavalete de válvulas no retorno do provador, entre a válvula de reversão do escoamento e o tanque (Figura 5.20). Desta forma, quando a esfera passar no primeiro sensor, a válvula de três vias é acionada para desviar o escoamento para o recipiente, que se encontra em cima da balança, e quando a esfera chegar no último sensor a válvula de três vias é novamente acionada para desviar o escoamento para o tanque.

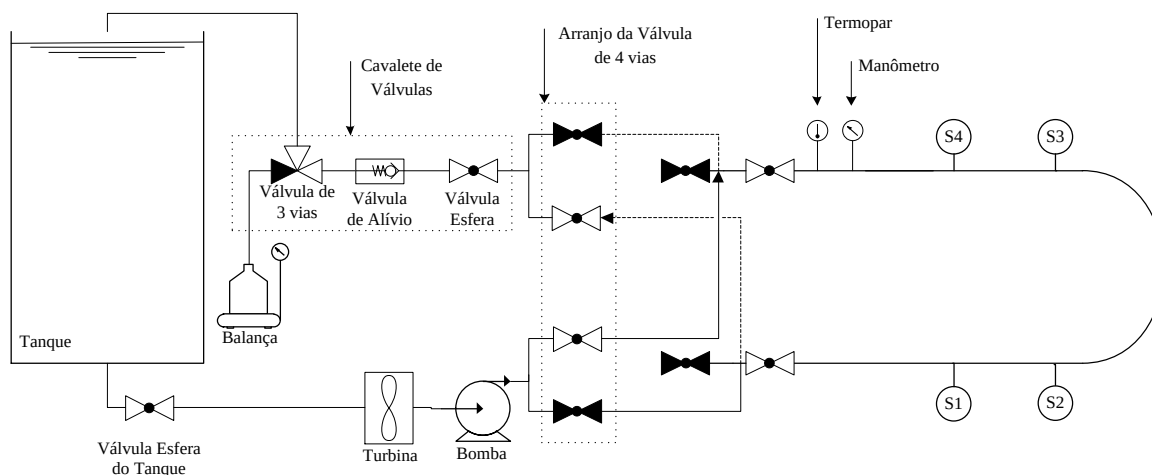


Figura 5.20: Croqui do método gravimétrico.

Para os testes executados, o computador recebe os sinais dos detectores óticos e do medidor tipo turbina. Desta forma quando a esfera passa por um detector o sinal é enviado ao computador que registrará o intervalo de tempo entre um sinal e outro e os pulsos emitidos pela turbina no mesmo

intervalo, possibilitando a correlação da vazão do provador com a indicada pela turbina. São utilizados termopares do tipo K para medir a temperatura em três locais diferentes: no provador, no tanque e ambiente.

Para verificar a variação do volume base devido à pressão foi instalado no provador uma válvula tipo esfera (válvula do recipiente) e um recipiente graduado para contabilizar a variação do volume (Figura 5.21). Com a bomba centrífuga ligada e o arranjo da válvula de quatro vias posicionada de forma a ter o escoamento no sentido anti-horário, a válvula A é fechada atingindo a pressão máxima da bomba e em seguida a válvula B é fechada. A válvula do recipiente é aberta e observada e anotada a variação do volume no recipiente.

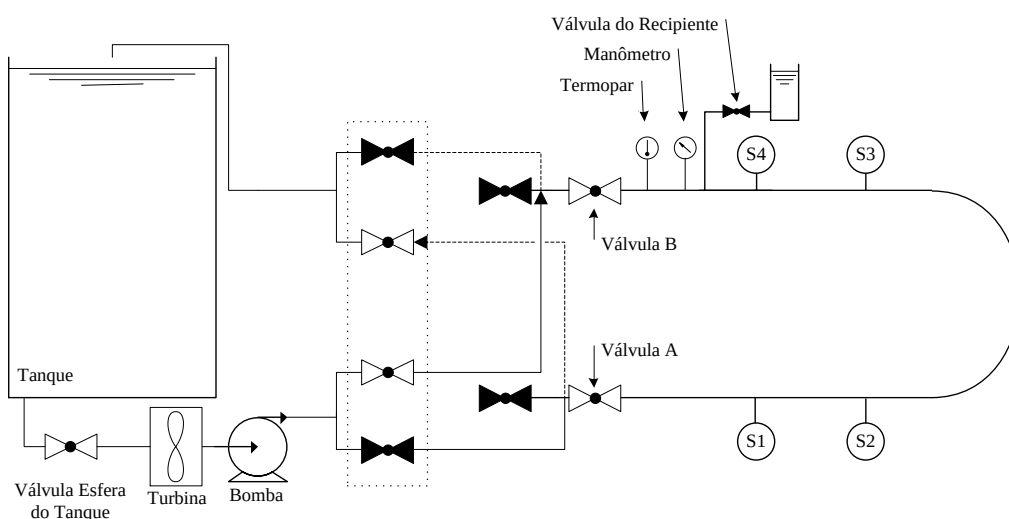


Figura 5.21: Croqui da variação do volume base devido a pressão.

Capítulo 6

Descrevendo a Incerteza

6.1 *Pipe Prover*

O volume base do provador determinado e utilizado por Lavezzo (2010) segue as recomendações da norma ISO 4267-2 (1988). Por se tratar do fluido medido ser a água potável, os fatores de correções empregados serão os mesmos para os volumes medidos pelo método de *waterdraw*, assim o volume base corrigido do provador será dada pela equação:

$$V_{bc} = \frac{\sum [V_{Mst} * (C_{tdw} * CTS_M)]}{(CTS_p * CPS_p * CPL_p)} \quad (6.1)$$

Onde:

V_{Mst} - [L] - Volume medido nas condições de referência (20 °C);

C_{tdw} - Fator de correção do efeito da temperatura na água;

CTS_M - Fator de correção da temperatura no provador (medido);

CTS_p - Fator de correção da temperatura no provador (inicial);

CPS_p - Fator de correção da pressão no provador;

CPL_p - Fator de correção da pressão no líquido;

6.1.1 Fatores de Correção

Os fatores de correção foram retirados da norma ISO 4267-2 (1988). Para o cálculo foram adotados algumas constantes, como:

- Temperatura de referência - 20 °C;

- Altura da cidade de Vitória em relação ao nível do mar - 1 m;
- Coeficiente de expansão linear do PVC- $\alpha = 7 * 10^{-5} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$;
- Coeficiente de expansão cúbica - $\gamma = 3 * \alpha$;
- Modulo de elasticidade do material $E = 2,94 * 10^6 \text{ kPa}$;

→ **Massa Específica da Água (ρ_T)**

De acordo com ISO 8222 (2002), a massa específica da água para uma dada temperatura (T) é:

$$\rho_T = \rho_0 [1 - (A\Delta T + B\Delta T^2 + C\Delta T^3 + D\Delta T^4 + E\Delta T^5)] \quad (6.2)$$

Onde:

ρ_T - $[kg/m^3]$ - Massa Específica da água para a temperatura T ;

ρ_0 - $[kg/m^3]$ - Máxima massa específica da água na temperatura T_0

($\rho_0 = 999,97358 \text{ kg/m}^3$);

$\Delta T = T - T_0$;

$T_0 = 3,9818 \text{ } ^{\circ}\text{C}$;

$A = 7,0134 \times 10^{-8} \text{ } (^{\circ}\text{C})^{-1}$;

$B = 7,926504 \times 10^{-6} \text{ } (^{\circ}\text{C})^{-2}$;

$C = -7,575677 \times 10^{-8} \text{ } (^{\circ}\text{C})^{-3}$;

$D = 7,314894 \times 10^{-10} \text{ } (^{\circ}\text{C})^{-4}$;

$E = -3,596458 \times 10^{-12} \text{ } (^{\circ}\text{C})^{-5}$;

→ **Fator de Correção dos Efeitos da Temperatura no Líquido (CTL)**

$$CTL = \frac{\rho_m}{\rho_p} \quad (6.3)$$

Onde:

ρ_m - $[g/cm^3]$ - Massa Específica da água na temperatura medida;

ρ_p - $[g/cm^3]$ - Massa Específica da água na temperatura de referência.

→ **Volume Medido Corrigido para Temperatura de Referência (V_{Mst})**

$$V_{Mst} = V_M * CTL \quad (6.4)$$

Onde:

V_M - [L] - Volume medido;

CTL - Fator de correção dos efeitos da temperatura no líquido.

→ **Fator de Correção para a Expansão do Líquido Calibrado** (C_{tdw})

As correções são aplicadas para temperaturas entre 1 °C a 40 °C, de acordo com a norma ISO 8222 (2002).

$$C_{tdw} = \frac{\rho_p}{\rho_m} \quad (6.5)$$

Onde:

ρ_m - [g/cm³] - Massa Específica da água na temperatura medida;

ρ_p - [g/cm³] - Massa Específica da água na temperatura inicial do provador.

→ **Fator de Correção do Efeito da Temperatura Medida no Provador** (CTS_M) e nas **Condições Iniciais de Medição** (CTS_p)

$$CTS = 1 + (T - T_b) \gamma \quad (6.6)$$

Onde:

T - [°C] - Temperatura medida ou condições iniciais de medição;

T_b - [°C] - Temperatura de referência;

γ - [1/°C] - Coeficiente de expansão cúbica;

→ **Fator de Correção do Efeito da Pressão no Provador** (CPS_p)

$$CPS_p = 1 + \left[\frac{(P_p * ID)}{(E * WT)} \right] \quad (6.7)$$

Onde:

P_p - [kgf/cm²] - Pressão interna do provador;

ID - [mm] - Diâmetro interno do provador;

WT - [mm] - Espessura da parede do provador.

E - [kPa] - Modulo de elasticidade do material.

→ **Fator de Correção do Efeito da Pressão no Líquido** (CPL_p)

$$CPL_p = \frac{1}{[1 - (P - P_e) F]} \quad (6.8)$$

Onde:

F - $[1/kPa]$ - Fator de compressibilidade da água;

P - $[kPa]$ - Pressão interna medida do provador;

P_e - $[kPa]$ - Pressão de vapor de equilíbrio medido no líquido a determinada temperatura ($P_e = 0$ para $0^\circ C$, $P_e = 101,325$ kPa para $100^\circ C$).

6.1.2 Variação do Volume Base devido a Pressão

Neste trabalho será incluído na incerteza do volume base a expansão da tubulação pela pressão. Um experimento foi realizado para verificar a expansão sofrida do provador para a pressão máxima quando fechada as válvulas para operação do provador, e no momento em que o sistema de bombeamento encontra-se desligado a pressão interna é considerada zero.

Devido a dificuldade em obter pontos experimentais intermediários, a expansão do volume pela pressão é estimada pelos pontos de pressão máxima e mínima, deste modo é aplicado o método de regressão linear para obter uma equação em função da pressão de trabalho. A média dos dados obtidos após efetuar 10 observações para uma temperatura média de $25,5^\circ C$, são demonstrados na tabela abaixo:

Tabela 6.1: Leituras do teste de dilatação do tubo em função da pressão.

Pressão de Trabalho (kgf/cm^2)	Dilatação do Volume (ml)
0,00	0,0
1,65	30,0

A equação obtida pelo método de regressão linear é: $\delta V_P = 18,1818 * P$

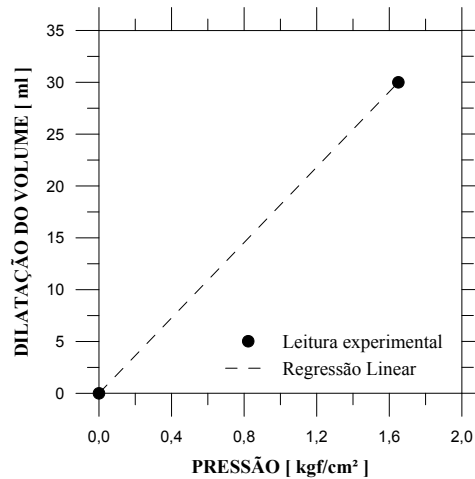


Figura 6.1: Resultado do teste de dilatação por pressão na tubulação.

6.1.3 Variação do Volume Base devido a Temperatura

No trabalho anterior (Lavezzo, 2010) obteve as medidas de raio interno e comprimento da tubulação na temperatura de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, resultando em volume base do provador para essa temperatura. No entanto a temperatura onde é realizado o experimento é monitorada, mas não é controlada, sendo assim necessária a correção do volume em função da variação da temperatura. A variação do volume é dada por:

$$\Delta V_T = V_c - V \quad (6.9)$$

Onde V_c é o volume corrigido e V o volume calculado por Lavezzo (2010).

O raio e o comprimento da tubulação terá novos valores devido dilatação térmica, demonstrados nas equações abaixo:

$$r_c = r + r\alpha\Delta T \quad (6.10)$$

$$L_c = L + L\alpha\Delta T \quad (6.11)$$

Assim o volume corrigido será:

$$V_c = (L_c) * (\pi r_c^2) \quad (6.12)$$

Para obter a incerteza padrão da dilatação térmica do volume, utiliza-se a Equação (4.3) para a média e a Equação (4.4) para a variância.

6.1.4 Expressão da Incerteza da Vazão do *Pipe Prover*

A vazão do provador é dada pela Equação (6.13)

$$Q = \frac{V_b}{t} \quad (6.13)$$

Assim, pode-se definir que a função que estimativa o mensurando (Q) é dada por:

$$y = q = f_1(t, V_b, \Delta V_T, \Delta V_P) \quad (6.14)$$

Logo, a incerteza combinada relativa do *pipe prover*, designada por $u_c(y)$, será composta pela incerteza combinada do tempo de trânsito, volume base medido, dilatação térmica e expansão do provador devido à pressão, como demonstrado na equação abaixo:

$$u_c(y) = \sqrt{\left(\frac{u_c(t)}{\bar{t}}\right)^2 + \left(\frac{u_c(V_b)}{\bar{V}_b}\right)^2 + \left(\frac{u_c(\Delta V_T)}{\bar{V}_b}\right)^2 + \left(\frac{u_c(\Delta V_P)}{\bar{V}_b}\right)^2} \quad (6.15)$$

A incerteza expandida U é obtida pela Equação (4.19) com nível de confiança de 95,00% e graus de liberdade dado pela Equação (4.17).

6.2 Método Gravimétrico

A aplicação do método gravimétrico será utilizado para calibrar e comprovar o volume base do provador. Esse método é descrito pela norma API MPMS 4.9.4 (2010), que propõe fatores de correção tanto para a massa como para o volume que se encontra no recipiente e no provador. Assim o volume base do provador é dado pela equação:

$$WD_{zb} = \left\{ \frac{(DV_w * CTS_p)}{(CPS_p * CPL_p)} \right\} \quad (6.16)$$

6.2.1 Fatores de Correção

Para o cálculo foram adotados algumas constantes, como:

- Temperatura de referência - 20 °C;
- Altura da cidade de Vitória em relação ao nível do mar - 1 m;
- Coeficiente de expansão linear do PVC- $\alpha = 7 * 10^{-5} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$;

- Coeficiente de expansão cúbica - $\gamma = 3 * \alpha$;
- Modulo de elasticidade do material $E = 2,94 * 10^6 \text{ kPa}$;
- Massa específica dos pesos - $\rho_{TW_f} = 8,0 \text{ [g/cm}^3\text{]}$

A massa específica da água (ρ_T) é calculada de acordo com a Equação (6.2).

→ **Massa Específica do Ar Seco (ρ_A)**

$$\rho_A = 0,001223068 \left[1 - \left(\frac{0,032 h}{1000} \right) \right] \left[\frac{519,67 T_f}{(T_f + 459,67)} \right] \quad (6.17)$$

Onde:

T_f - [$^{\circ}\text{C}$] - Temperatura do teste;

h - [m] - Elevação local acima do nível do mar.

→ **Correção para o Empuxo do Ar (*Air Buoyancy*) (CBW)**

$$CBW = \left[\frac{1 - \left(\frac{0,0012}{\rho_{TW_r}} \right)}{1 - \left(\frac{0,0012}{\rho_{TW_f}} \right)} \right] \left[\frac{1 - \left(\frac{\rho_A}{\rho_{TW_f}} \right)}{1 - \left(\frac{\rho_A}{\rho_{Ftp}} \right)} \right] \quad (6.18)$$

Onde:

ρ_{TW_r} - [g/cm^3] - Massa específica dos pesos de referência;

ρ_{TW_f} - [g/cm^3] - Massa específica dos pesos de teste de campo;

ρ_{Ftp} - [g/cm^3] - Massa Específica do fluido na temperatura e pressão do teste;

ρ_A - [g/cm^3] - Massa Específica do ar seco.

→ **Correção da Massa de Água do Recipiente (M_{fl})**

$$M_{fl} = AM_{fl} \times CBW \quad (6.19)$$

Onde:

M_{fl} - [g] - Massa da água corrigida;

AM_{fl} - [g] - Massa de água aparente;

CBW - Correção do Empuxo do ar.

→ **Determinação do Volume para a Temperatura do teste e Pressão Atmosférica**
(DV_w)

$$DV_w = \frac{M_{fl}}{\rho_{WT}} \quad (6.20)$$

Onde:

DV_w - [ml] - Volume de água no recipiente;

M_{fl} - [g] - Massa de água corrigida;

ρ_{WT} - [g/cm³] - Massa específica da água na temperatura do teste e pressão.

→ **Correção do Efeito da Temperatura no Provador** (CTS)

$$CTS = \{1 + [(T - T_b) G_c]\} \quad (6.21)$$

Onde:

CTS - Correção para o efeito da temperatura no provador;

G_c - [1/°C] - Coeficiente de expansão cubica;

T_b - [°C] - Temperatura padrão.

T - [°C] - Temperatura do fluido no recipiente.

→ **Fator de Correção para o Efeito da Temperatura no Provador** (CTS_p)

$$CTS_p = \frac{1}{CTS} \quad (6.22)$$

Onde:

CTS_p - Fator de correção para o efeito total da temperatura no provador;

CTS - Correção para o efeito da temperatura no provador;

→ **Correção do Efeito da Pressão no Provador** (CPS)

$$CPS = 1 + \left[\frac{(P_p * ID)}{(E * WT)} \right] \quad (6.23)$$

Onde:

CPS - Correção para o efeito da pressão no provador;

P_p - [kgf/cm²] - Pressão interna do provador;

ID - $[mm]$ - Diâmetro interno do provador;

WT - $[mm]$ - Espessura da parede do provador.

E - $[kPa]$ - Modulo de elasticidade do material.

→ **Correção do Efeito da Pressão no Massa Específica da Água (CPL_p)**

$$CPL_p = \frac{1}{[1 - (P * F)]} \quad (6.24)$$

Onde:

CPS_p - Correção da compressibilidade da água no provador;

P - $[kgf/cm^2]$ - Pressão de operação do provador;

F - $[1/kPa]$ - Fator de compressibilidade da água;

6.2.2 Válvula de Três Vias

A válvula de três vias tem seu acionamento manual o que ocasiona uma incerteza devido à não uniformidade de abertura e fechamento dessa. Desta forma, foi realizado um experimento para determinar a incerteza da válvula de três vias, coletando-se o volume de líquido vazado em um processo de abertura e imediato fechamento da válvula adotando-se a vazão máxima do provador além do cuidado de acionar a alavanca da válvula de forma rápida e uniforme para evitar diferentes tempos de acionamento. Os dados obtidos são mostrados na Tabela 6.2:

Tabela 6.2: Avaliação da incerteza devido ao acionamento da válvula de três vias.

nº	Volume Coletado (ml)	Massa Coletada (kg)	nº	Volume Coletado (ml)	Massa Coletada (kg)
1	219,0	0,218	8	247,0	0,246
2	182,0	0,181	9	199,0	0,198
3	224,0	0,223	10	255,0	0,254
4	230,0	0,229	11	189,0	0,188
5	221,0	0,220	12	185,0	0,184
6	200,0	0,199	13	193,0	0,192
7	296,0	0,295	14	188,0	0,187
			15	249,0	0,248

A melhor estimativa que representa as grandezas independentes levantadas aleatoriamente (X_i) é a média aritmética das n observações, obtida pela Equação (4.3) e a incerteza padrão dada pela raiz quadrada da Equação (4.5). Aplicando essas equações nos dados obtidos temos:

Tabela 6.3: Análise estatística das observações.

Média	Desvio Padrão	Incerteza Padrão Combinada
$\bar{x}$	$s(x_i)$	$u_c(x_i)$
0,218	0,0325	0,0084

6.2.3 Expressão da Incerteza do Método Gravimétrico

A massa obtida do tanque é convertida em volume por meio da Equação (6.20). Assim, pode-se definir que a função que estima o mensurando é dada por:

$$y = f_1 (M, M_{V3V}) \quad (6.25)$$

Deste modo, a incerteza do método gravimétrico, designada por $u_c(y)$ (Equação (6.26)), é composta pela incerteza combinada relativa da massa medida e da massa da válvula de três vias.

$$u_c(y) = \sqrt{\left(\frac{u_c(M)}{\bar{M}}\right)^2 + \left(\frac{u_c(M_{V3V})}{\bar{M}}\right)^2} \quad (6.26)$$

A incerteza expandida U , dada pela Equação (4.19) com nível de confiança de 95,00% e graus de liberdade dado pela Equação (4.17).

6.3 Turbina

A velocidade rotacional da turbina é proporcional à velocidade do fluido, desde que, a área de passagem do fluido seja fixa, além de representar o volume do fluido que passa através do transdutor. Pulsos elétricos são gerados pela rotação do rotor os quais são captados pelo medidor a cada passagem das palhetas do rotor, assim cada pulso gerado representa um volume de fluido. Logo o valor da vazão instantânea é dado por sua frequência e o volume total medido por sua vazão acumulada.

As recomendações do fabricante foram seguidas para a instalação bem como está disponível em seu catálogo a esperança de repetibilidade e linearidade do equipamento, o fator K e os erros verificados nos resultados da calibração.

O fator K da turbina declarado pelo fabricante é de 500,39. De acordo com a norma ISO 4267-2 (1988), o fator K também é a relação entre o número de pulsos gerados pelo medidor para uma unidade de volume entregue, ou seja:

$$Fator\ K = \frac{n_p}{Vb_i * CTS_p * CPS_p} \quad (6.27)$$

Onde:

- n_p - Número de pulsos gerados pela turbina;
- Vb_i - Volume base em determinado trecho;
- CTS_p - Correção da temperatura no provador;
- CPS_p - Correção da pressão no provador.

6.3.1 Interpolação de Pulsos

Os pulsos gerados pela turbina durante o translado da esfera pelos sensores, são registrados na memória de dados do programa, sendo que os pulsos registrados são aqueles acumulados entre dois detectores. Para a contagem de pulsos inteiros será contabilizado o primeiro pulso posterior a passagem da esfera no sensor 1, assim como o pulso anterior a passagem da esfera no sensor 2, como demonstrado na Figura 6.2.

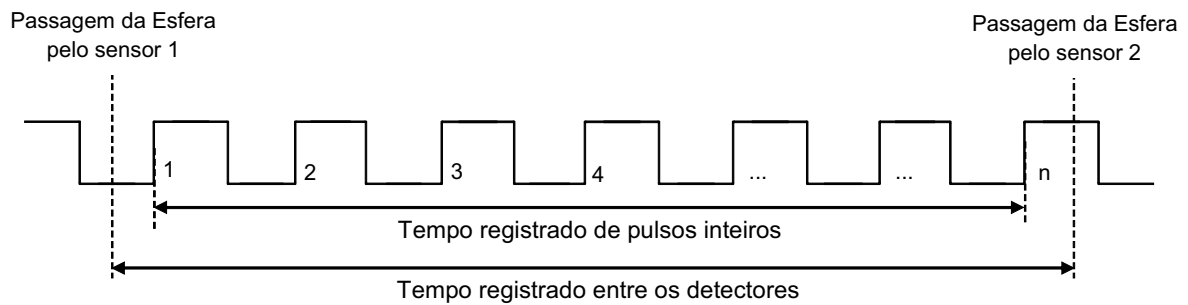


Figura 6.2: Sistema de contagem de pulsos.

De acordo com as recomendações da norma ISO 7278-3, a interpolação de pulsos é realizada pelo método de interpolação de pulsos de tempo duplo (*double-timing method*), que segue a equação:

$$n'_p = n_p \frac{t_s}{t_p} \quad (6.28)$$

Onde:

n'_p - Número de pulsos interpolados entre os detectores;

n_p - Número de pulsos brutos gerados pela turbina entre os detectores;

t_s - Tempo registrado entre os sinais emitidos pelos detectores;

t_p - Tempo registrado entre os pulsos inteiros gerados entre os detectores.

6.3.2 Expressão da Incerteza da Turbina

A expressão da incerteza da turbina é dada pela variação dos pulsos gerados em cada trecho. Assim a incerteza relatada dos pulsos emitidos pela turbina será a própria incerteza da turbina. A incerteza expandida U , dada pela Equação (4.19) com nível de confiança de 95,00% e graus de liberdade dado pela Equação (4.17).

Caso o resultado da vazão entre a turbina e o *pipe prover* sejam iguais, significa que a turbina não possui erro sistemático e está devidamente calibrada. Caso contrário, é proposto um novo fator K para a turbina e um fator de correção MF (fator de medição) para correção do erro sistemático, dado por:

$$MF = \frac{Vb_i}{Vt_i} \quad (6.29)$$

Onde:

Vb_i - Volume base em determinado trecho;

Vt_i - Volume indicado pela turbina em determinado trecho;

MF - Fator de correção (fator de medição).

Capítulo 7

Resultados e Discussões

7.1 Avaliação dos Vários Volumes

O provador utilizado permite a avaliação de vários trechos distintos podendo avaliar independentemente dois trechos retos (S1-S2 e S3-S4), um curvo (S2-S3) e o trecho que engloba todos os anteriores (S1-S4) além da possibilidade de avaliação como unidirecional ou bidirecional.

Os dados apresentados nas Tabelas (7.1) a (7.3) seguem as recomendações da norma ISO 7278-2 (1988), cujo para o *pipe prover* unidirecional é necessário atingir a repetitividade de 0,02% para três corridas enquanto que para o *pipe prover* bidirecional necessita de três ciclos (composto por uma corrida de ida e uma corrida de volta) para atingir a mesma incerteza.

Na realização dos experimentos foram adotados três níveis de vazões (máxima, intermediária e mínima), sendo a vazão máxima obtida com a válvula agulha totalmente aberta. Para a vazão mínima, é adotado a menor leitura de vazão da turbina, especificada pelo fabricante, enquanto a vazão intermediária é a média dos níveis de vazão máxima e mínima.

7.1.1 Vazão Máxima

Ao observar a Figura 7.1, vê-se que as incertezas na avaliação do bidirecional são menores quando comparadas as incertezas dos trechos unidirecionais de ida e volta, comportamento esse já esperado. Outro fato a se observar é que todos os trechos de volta, com exceção do trecho S4-S3, apresentam incertezas menores que o trecho de ida devido à possíveis deformações que favorecem a um sentido e prejudica em outro.

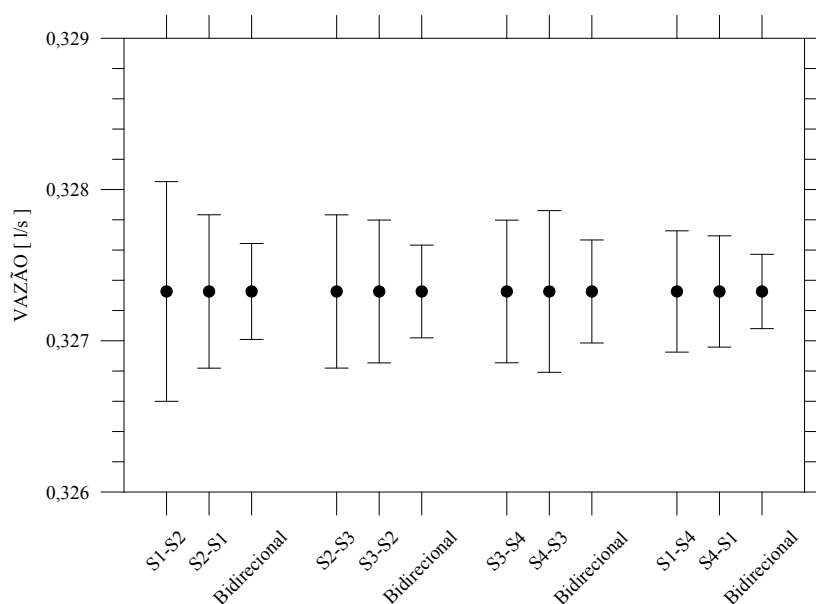


Figura 7.1: Comparação das incertezas dos trechos na vazão máxima.

Tabela 7.1: Resultado dos trechos para a vazão máxima.

Trecho	Incerteza		
	Vazão Média (l/s)	Combinada Relativa (%)	Desvio Padrão (%)
S1-S2	0,327	0,22	0,30
S2-S1	0,326	0,16	0,12
Bidirecional	0,327	0,10	0,09
S2-S3	0,328	0,15	0,12
S3-S2	0,327	0,14	0,07
Bidirecional	0,327	0,09	0,08
S3-S4	0,329	0,14	0,07
S4-S3	0,327	0,16	0,15
Bidirecional	0,328	0,10	0,11
S1-S4	0,328	0,12	0,13
S4-S1	0,327	0,11	0,10
Bidirecional	0,327	0,08	0,06

7.1.2 Vazão Intermediária

Nesta vazão as incertezas dos trechos de volta estão superiores ao trecho de ida, diferentemente do ocorrido na vazão máxima. Isto pode estar relacionado com o fato do diâmetro interno da tubulação apresentar pequenas variações que acarretaria em uma dificuldade no trânsito da esfera. Como já observado na vazão máxima, as incertezas dos trechos bidirecionais permanecem menor que as incertezas dos trechos unidirecionais, enquanto que o desvio padrão (repetitividade) é sempre maior que o trecho de ida.

Tabela 7.2: Resultado dos trechos para a vazão intermediária.

Trecho	Vazão Média (l/s)	Incerteza	
		Combinada Relativa (%)	Desvio Padrão (%)
S1-S2	0,240	0,12	0,08
S2-S1	0,239	0,16	0,21
Bidirecional	0,239	0,12	0,14
S2-S3	0,240	0,12	0,08
S3-S2	0,239	0,14	0,16
Bidirecional	0,240	0,11	0,12
S3-S4	0,241	0,12	0,07
S4-S3	0,240	0,12	0,09
Bidirecional	0,240	0,10	0,08
S1-S4	0,240	0,10	0,08
S4-S1	0,240	0,12	0,15
Bidirecional	0,240	0,09	0,11

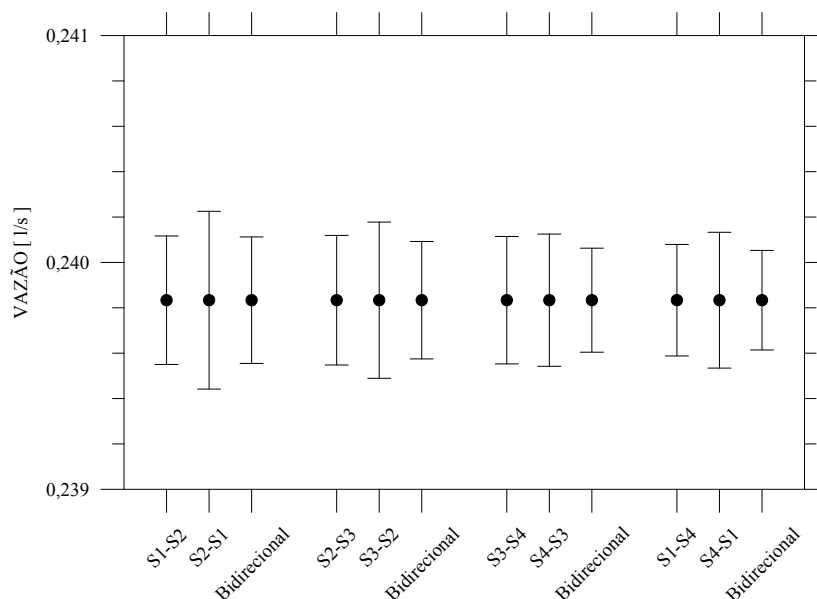


Figura 7.2: Comparação das incertezas dos trechos na vazão intermediária.

7.1.3 Vazão Mínima

Como ocorrido nas outras vazões, a incerteza do trecho bidirecional é menor quando comparado aos trechos unidirecionais, com exceção do trecho S1-S2 bidirecional. Esse fato está relacionado com o trecho S1-S2 unidirecional apresentar uma incerteza maior que o padrão obtido devido à possíveis problemas de operação, sendo que esses problemas podem estar ligados ao nível de vazão baixa que resulta em uma tendência de movimentos irregulares da esfera ocasionados pelo efeito do atrito com a parede do tubo.

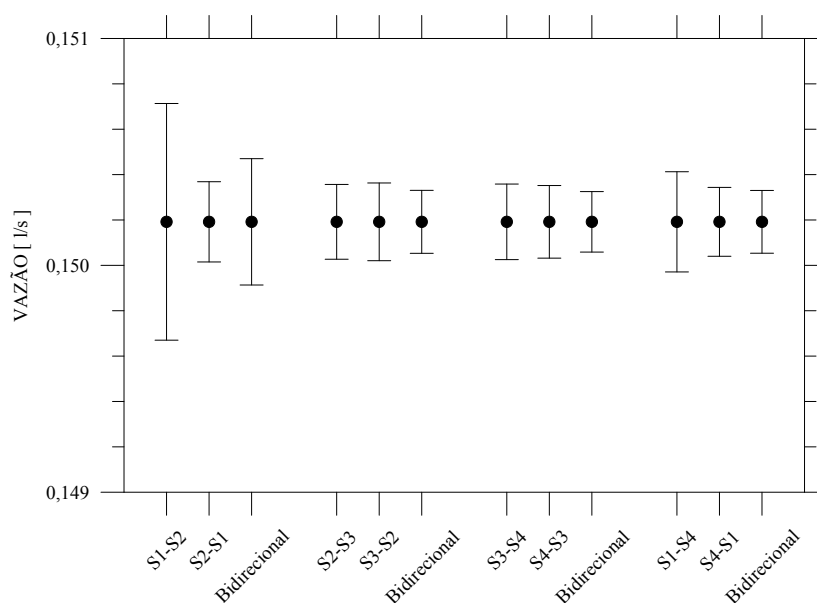


Figura 7.3: Comparação das incertezas dos trechos na vazão mínima.

Tabela 7.3: Resultado dos trechos para a vazão mínima.

Trecho	Vazão Média (l/s)	Incerteza	
		Combinada Relativa (%)	Desvio Padrão (%)
S1-S2	0,150	0,35	0,58
S2-S1	0,150	0,12	0,10
Bidirecional	0,150	0,19	0,29
S2-S3	0,150	0,11	0,07
S3-S2	0,150	0,11	0,09
Bidirecional	0,150	0,09	0,07
S3-S4	0,151	0,11	0,07
S4-S3	0,151	0,11	0,05
Bidirecional	0,151	0,09	0,06
S1-S4	0,150	0,15	0,20
S4-S1	0,150	0,10	0,07
Bidirecional	0,150	0,09	0,11

7.2 Reprodutibilidade

Um dos objetivos deste trabalho é atestar a reprodutibilidade do sistema que, para ser alcançado, deve obedecer os requisitos apresentados no item 4.2. Assim este trabalho segue os procedimentos adotados por Lavezzo (2010) que utiliza vinte ciclos (cada ciclo corresponde a uma corrida de ida e outra de volta no provador) em três níveis de vazão (máxima, intermediária e mínima). Devido à mudança de operador, as vazões obtidas foram aproximadas as utilizadas por Lavezzo (2010). Na Tabela 7.4 mostra os dados do escoamento no provador:

Tabela 7.4: Dados do escoamento no provador.

	Vazão	Velocidade	Número de Reynolds
	(m^3/s)	(m/s)	
Máxima	3,28E-04	1,49E-01	9,82E+03
Intermediária	2,40E-04	1,09E-01	7,19E+03
Mínima	1,50E-04	6,80E-02	4,49E+03

($D_{int} = 53mm$, Propriedades do Fluido: Água, $T=30\text{ }^{\circ}C$, $\rho = 996kg/m^3$, $\mu = 7,99 \times 10^{-4}N.s/m^2$)

A temperatura é medida por três termopares que se encontram instalados no tanque, provador e no ambiente. A coleta de dados é realizado pelo equipamentos da *National Instruments* e pelo programa LabView, também desenvolvido pela mesma empresa, enquanto que os dados brutos são coletados pelo sistema de aquisição de dados que fornecem:

- Tempo de detecção entre os sensores;
- Tempo e número de pulsos inteiros entre os sensores;
- Número de pulsos processados pelo programa;
- Vazão indicativa da turbina (fornecida por uma saída de sinal analógico).

O critério de rejeição adotado é o critério de Chauvenet, que de acordo com Mendes e Rosario (2005), determina que se o módulo do desvio d_i de uma determinada medição x_i em relação à média for maior que um valor d_{ch} (limite de rejeição de Chauvenet), a medição deve ser rejeitada.

$$|d_i| = |x_i - \bar{x}| > d_{ch} \rightarrow \text{rejeitar } x_i \quad (7.1)$$

O limite de rejeição de Chauvenet é obtido multiplicando o desvio padrão (s) do conjunto de

medições com o fator que se encontra na Tabela 7.5.

Tabela 7.5: Limite de rejeição de Chauvenet

nº de medidas	d_{ch}
2	1,15 s
3	1,38 s
4	1,54 s
5	1,65 s
6	1,73 s
7	1,80 s
8	1,87 s
9	1,91 s
10	1,96 s
11	1,99 s
12	2,03 s
15	2,13 s
20	2,24 s
25	2,33 s
30	2,39 s
50	2,57 s
100	2,81 s
300	3,14 s
500	3,29 s
1000	3,48 s

Fonte: Mendes e Rosario (2005)

Após a aplicação do critério de rejeição, os resultados obtidos serão comparados com os dados do Lavezzo (2010). Esses serão apresentados em gráficos com os três níveis de vazão com suas respectivas incertezas combinadas relativas. Para as Figuras 7.4 à 7.9, é utilizada a média de vinte corridas para cada nível de vazão .

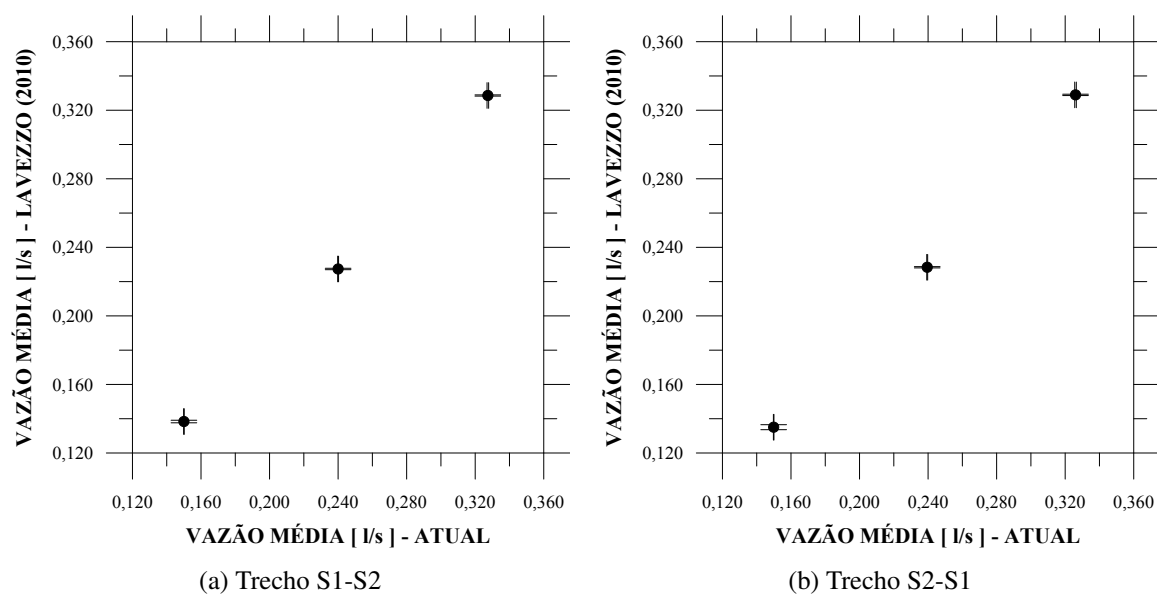


Figura 7.4: Comparação dos trechos S1-S2 e S2-S1.

Tabela 7.6: Dados da comparação dos trechos S1-S2 e S2-S1.

		Trabalho Atual			Lavezzo (2010)		
	Nível de Vazão	Vazão Média	Desvio Padrão	Incerteza Combinada Relativa	Vazão Média	Incerteza Combinada Relativa	Relação das Incertezas
		(l/s)	(%)	(%)	(l/s)	(%)	(%)
S1-S2	Máxima	0,327	0,18	0,14	0,329	0,11	35,64
	Intermediária	0,240	0,08	0,11	0,227	0,18	-39,47
	Mínima	0,150	0,35	0,13	0,138	0,54	-75,96
S2-S1	Máxima	0,326	0,25	0,15	0,329	0,12	24,73
	Intermediária	0,239	0,15	0,11	0,228	0,16	-29,04
	Mínima	0,150	0,14	0,11	0,135	1,08	-90,06

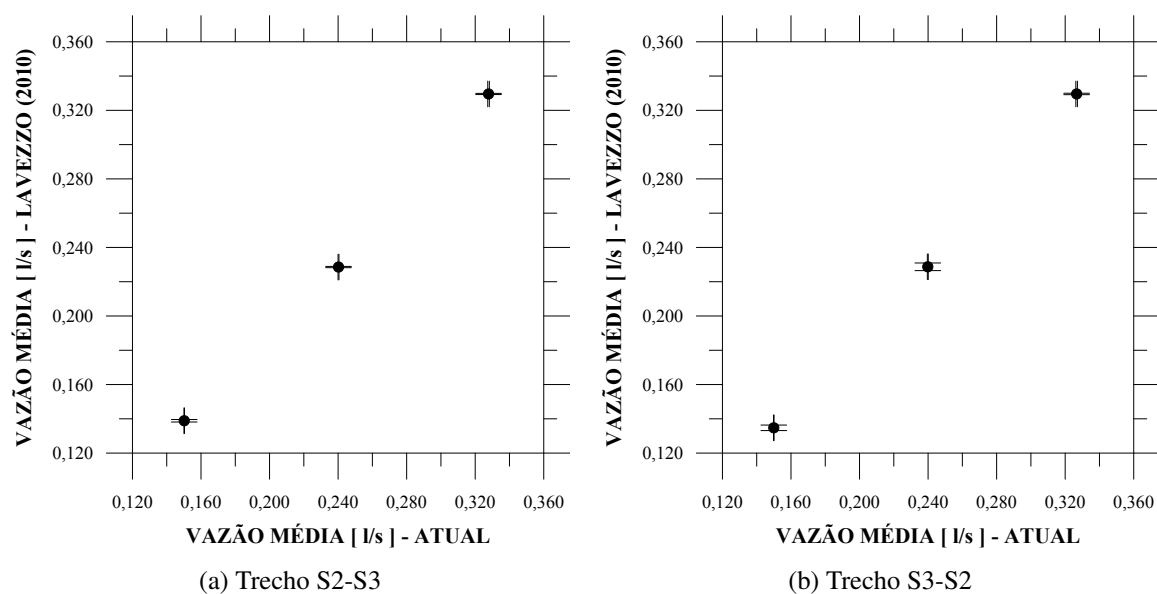


Figura 7.5: Comparação dos trechos S2-S3 e S3-S2.

Tabela 7.7: Dados da comparação dos trechos S2-S3 e S3-S2.

		Trabalho Atual			Lavezzo (2010)		
	Nível de Vazão	Vazão Média	Desvio Padrão	Incerteza Combinada Relativa	Vazão Média	Incerteza Combinada Relativa	Relação das Incertezas
		(l/s)	(%)	(%)	(l/s)	(%)	(%)
S2-S3	Máxima	0,328	0,13	0,14	0,330	0,10	37,79
	Intermediária	0,240	0,09	0,11	0,229	0,16	-31,46
	Mínima	0,150	0,11	0,11	0,139	0,52	-79,93
S3-S2	Máxima	0,327	0,14	0,14	0,330	0,13	11,26
	Intermediária	0,240	0,11	0,11	0,229	0,22	-49,83
	Mínima	0,150	0,10	0,10	0,135	1,19	-91,21

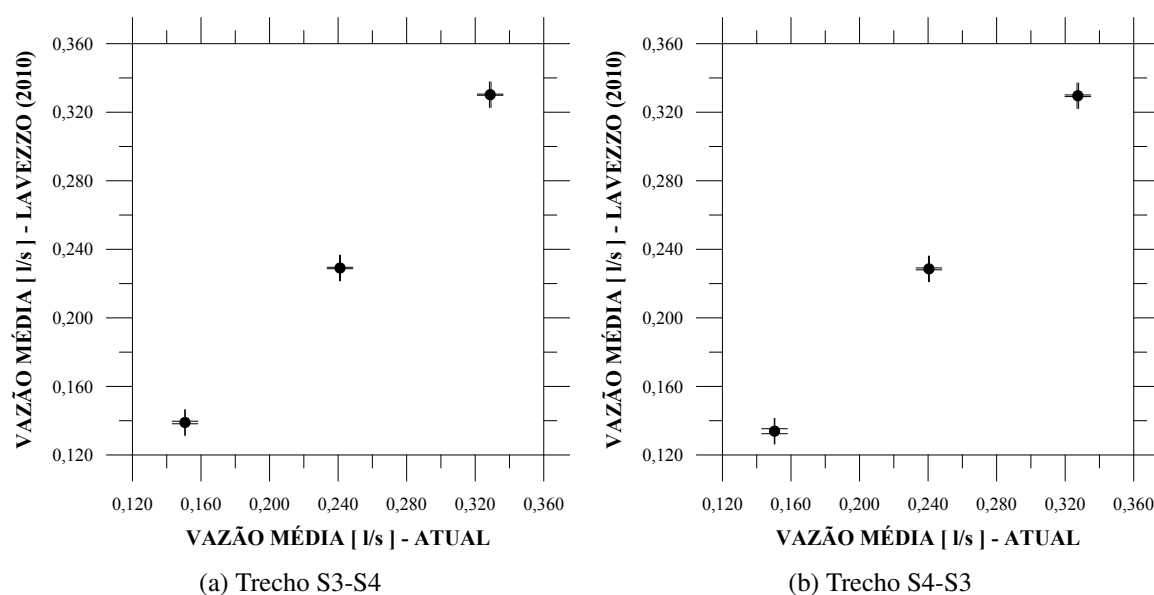


Figura 7.6: Comparação dos trechos S3-S4 e S4-S3.

Tabela 7.8: Dados da comparação dos trechos S3-S4 e S4-S3.

		Trabalho Atual			Lavezzo (2010)		
	Nível de Vazão	Vazão Média	Desvio Padrão	Incerteza Combinada Relativa	Vazão Média	Incerteza Combinada Relativa	Relação das Incertezas
		(l/s)	(%)	(%)	(l/s)	(%)	(%)
S3-S4	Máxima	0,329	0,11	0,14	0,330	0,10	37,95
	Intermediária	0,241	0,11	0,11	0,229	0,19	-40,12
	Mínima	0,151	0,11	0,11	0,139	0,53	-80,30
S4-S3	Máxima	0,327	0,13	0,14	0,330	0,14	-2,19
	Intermediária	0,240	0,10	0,11	0,229	0,24	-54,50
	Mínima	0,150	0,14	0,11	0,134	1,08	-90,16

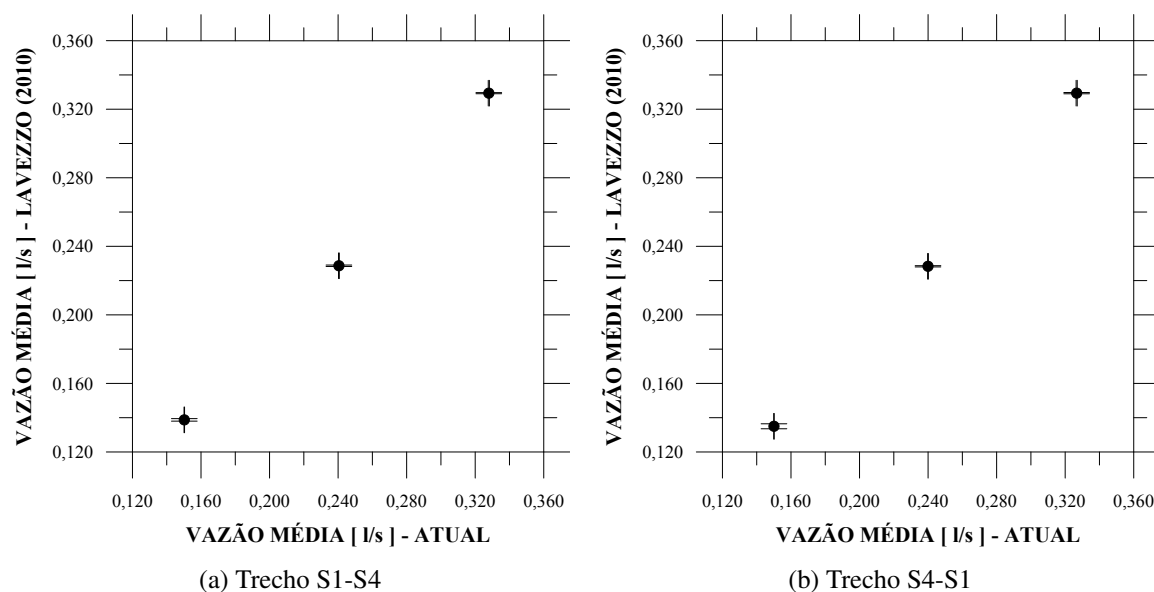


Figura 7.7: Comparação dos trechos S1-S4 e S4-S1.

Tabela 7.9: Dados da comparação dos trechos S1-S4 e S4-S1.

		Trabalho Atual			Lavezzo (2010)		
	Nível de Vazão	Vazão Média	Desvio Padrão	Incerteza Combinada Relativa	Vazão Média	Incerteza Combinada Relativa	Relação das Incertezas
		(l/s)	(%)	(%)	(l/s)	(%)	(%)
S1-S4	Máxima	0,328	0,12	0,10	0,329	0,10	1,69
	Intermediária	0,240	0,08	0,09	0,229	0,16	-39,91
	Mínima	0,150	0,13	0,10	0,139	0,53	-81,82
S4-S1	Máxima	0,327	0,15	0,10	0,329	0,11	-8,36
	Intermediária	0,240	0,11	0,10	0,228	0,18	-47,34
	Mínima	0,150	0,11	0,09	0,135	1,08	-91,21

Como pode ser observado nas figuras acima, as vazões se aproximaram das utilizadas por Lavezzo (2010), sendo essas diferenças devido à operadores diferentes, enquanto que a incerteza combinada relativa comporta-se de forma semelhante em todos trechos, devendo apenas se atentar para as vazões mínimas que no trabalho anterior apresentam uma incerteza relativa maior que a atual. As diferenças observadas podem estar relacionadas ao fato de que, neste trabalho haver uma preocupação maior com as impurezas que podem passar para o provador, para isso foi instalado um filtro antes da turbina que retem as impurezas (Figura 7.8) além da troca da água do reservatório por uma mais limpa. Esse cuidado não foi tomado na montagem de Lavezzo (2010) e pode ter influenciado nas medições, principalmente na vazão mínima.

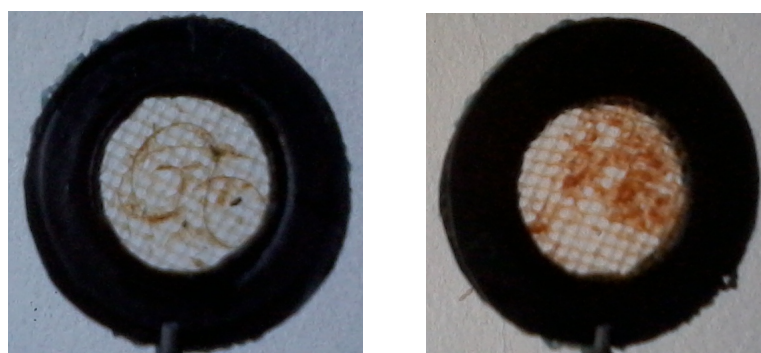


Figura 7.8: Impureza encontrada no filtro após alguns ciclos de medição.

7.3 Método Gravimétrico

Para verificar o volume base calculado por Lavezzo (2010) será utilizado o método gravimétrico conforme os passos descritos no item 5.2. O teste é executado com cinco ciclos, sendo cada ciclo composto por uma corrida de ida e outra de volta, em três níveis de vazão (máxima, intermediária e mínima). Para melhor visualização e comparação dos dados serão apresentados por trechos em sentidos contrários para cada nível de vazão.

7.3.1 Vazão Máxima

As Figura 7.9 e 7.10 mostram os gráficos de volume obtido e da média do volume acumulado. A dispersão dos valores da média acumulada se apresentam maiores no trecho S1-S4 em relação ao trecho S4-S1, 0,218 L e 0,07 L respectivamente, com tendência para média de 19,87 L para o trecho de ida e 21,08 L para o trecho de volta, enquanto que os gráficos de volume medido apresentam em sua maioria pontos dentro do nível de confiança de 68,27%.

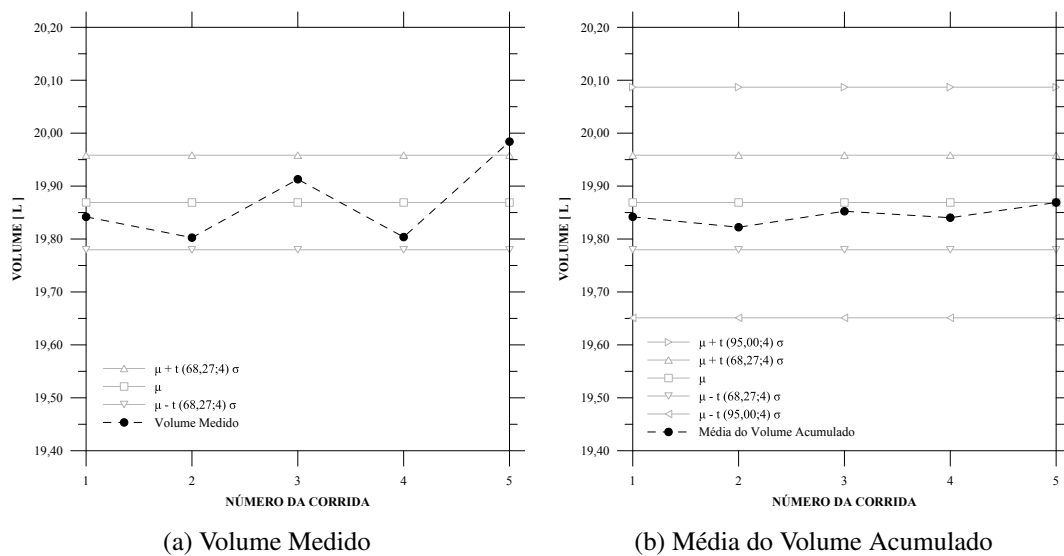


Figura 7.9: Resultado do método gravimétrico para o trecho S1-S4 na vazão máxima.

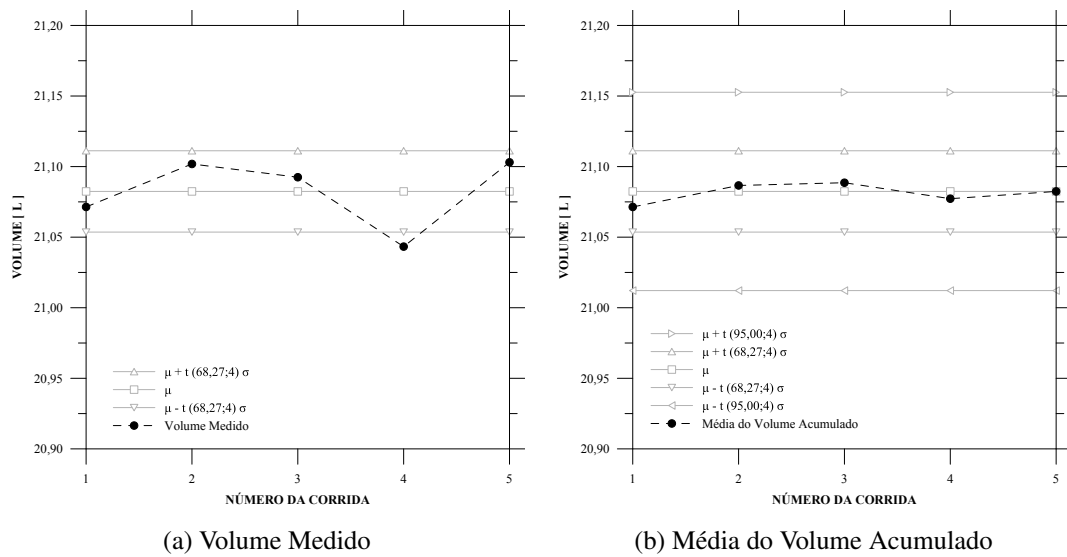


Figura 7.10: Resultado do método gravimétrico para o trecho S4-S1 na vazão máxima.

7.3.2 Vazão Intermediária

Para a vazão intermediária o volume medido do trecho S4-S1 apresenta uma dispersão de 50% menor que o trecho S1-S4. Quanto a média do volume acumulado, essa demonstra ter o mesmo comportamento que a vazão máxima, com média de 19,86 L para o trecho de ida e 20,78 L no trecho de volta.

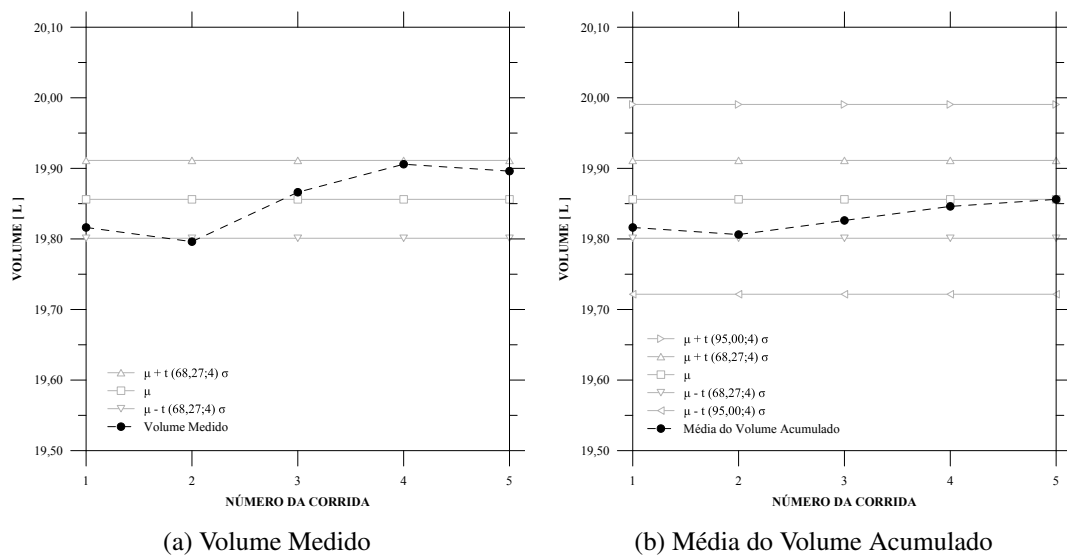


Figura 7.11: Resultado do método gravimétrico para o trecho S1-S4 na vazão intermediária.

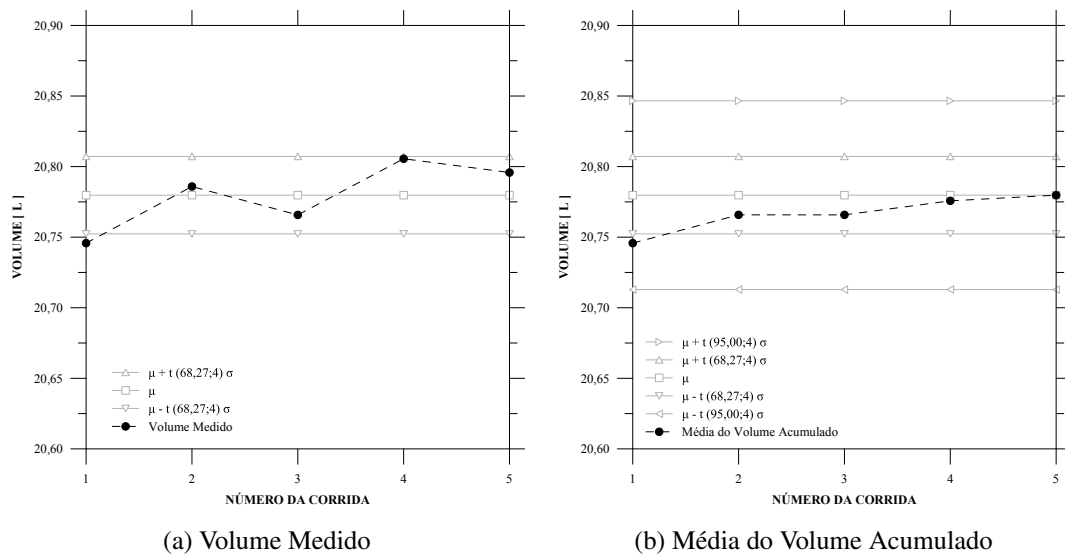


Figura 7.12: Resultado do método gravimétrico para o trecho S4-S1 na vazão intermediária.

7.3.3 Vazão Mínima

Observa-se que nesta vazão o volume medido contém alguns pontos fora do nível de confiança (68,27%) e que a média do volume acumulado tende a se estabilizar em 19,86 L para o trecho S1-S4 e 20,43 L no trecho S4-S1, como pode ser visto nas Figura 7.13 e 7.14.

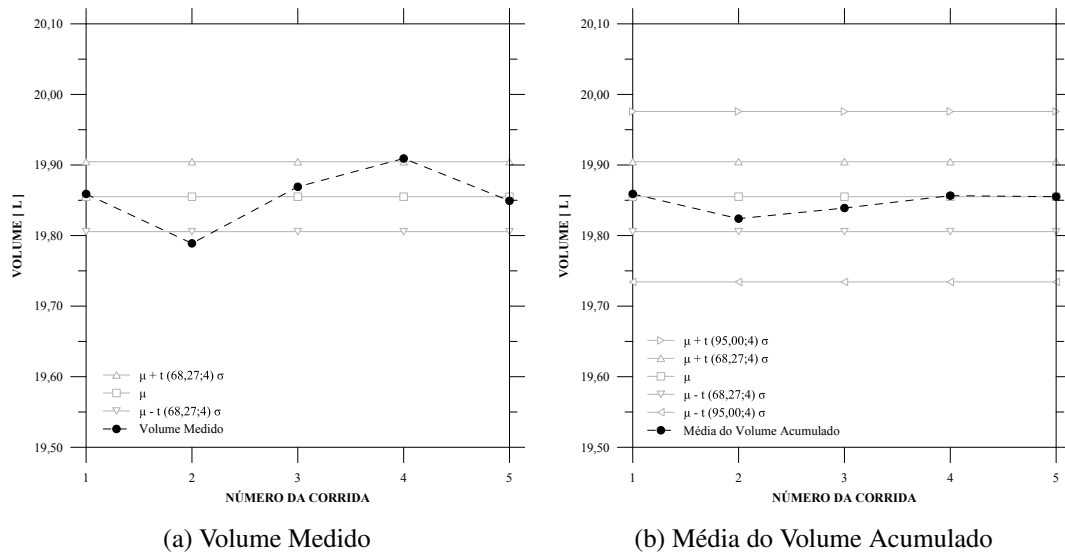


Figura 7.13: Resultado do método gravimétrico para o trecho S1-S4 na vazão mínima.

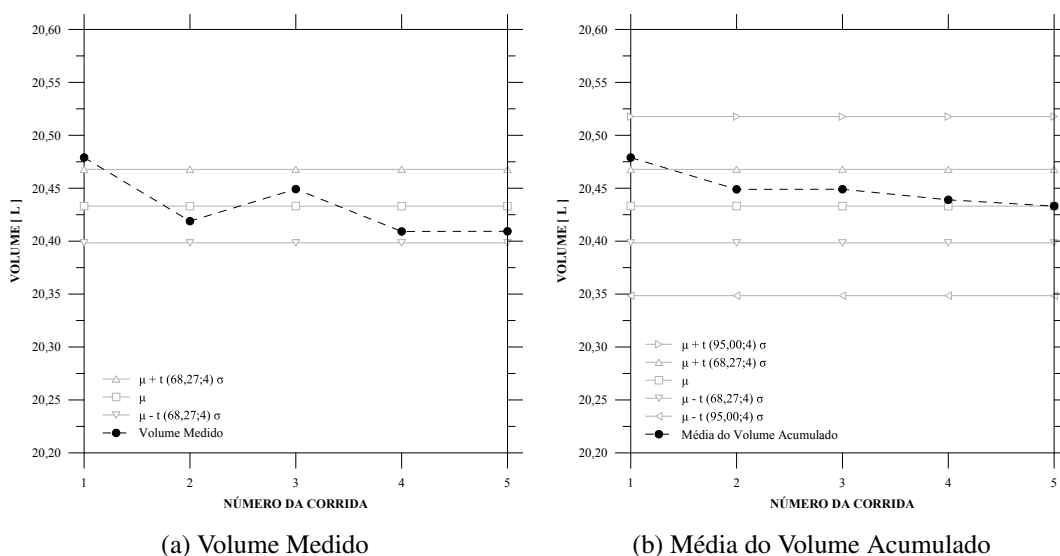


Figura 7.14: Resultado do método gravimétrico para o trecho S4-S1 na vazão mínima.

Em média, tanto o volume medido como a média do volume acumulado apresentam uma dispersão de 0,158 L (trecho S1-S4) e 0,074 L (trecho S4-S1). Nota-se também que o experimento obteve valores que permanecem tanto no nível de confiança de 95,00% quanto 68,27%

Um resumo dos dados obtidos do método gravimétrico é mostrado na Tabela 7.10, enquanto que a Figura 7.15 faz uma comparação do volume do provador obtido por Lavezzo (2010) com as leituras atuais.

Tabela 7.10: Incertezas obtidas do método gravimétrico.

Trecho	Nível de Vazão	Volume Médio (L)	Incerteza	Incerteza	Desvio Padrão (%)
			Combinada Relativa (%)	Expandida Relativa (%)	
S1-S4	Máxima	19,87	0,18	0,50	0,39
	Intermediária	19,86	0,12	0,33	0,24
	Mínima	19,86	0,11	0,30	0,22
S4-S1	Máxima	21,08	0,07	0,19	0,12
	Intermediária	20,78	0,07	0,18	0,12
	Mínima	20,43	0,08	0,22	0,15

(Nível de Confiança = 95,00%; Graus de Liberdade = 4)

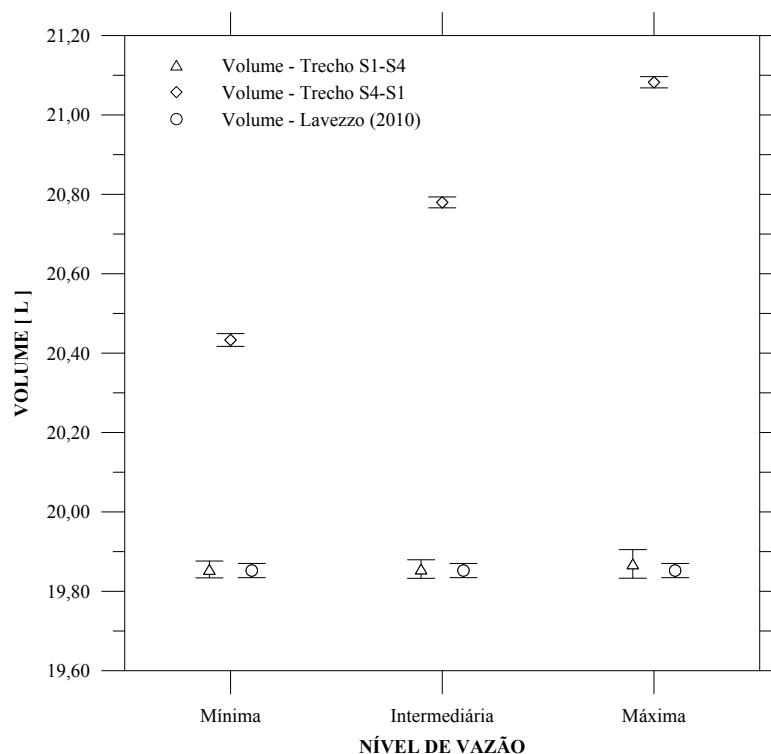


Figura 7.15: Comparação do volume do provador dos trechos S1-S4, S4-S1 e Lavezzo (2010).

Lavezzo (2010) por meio de seu procedimento obteve o volume do provador de 19,85 litros com a incerteza combinada relativa de 0,09%. Quando comparado com o resultado do método gravimétrico, o trecho S1-S4 se aproxima dos valores encontrados por ele, diferentemente do trecho S4-S1 cujo volume é maior e dependente do nível de vazão. Com relação ao fato dos diferentes volumes nos trechos, Comstock (2006) diz que é aceitável os valores serem diferentes desde que os sensores fossem neutros nos trechos de ida e volta, caso contrário o volume do provador é instável mesmo com boa repetitividade.

De acordo com a recomendação da norma API MPMS 4.9.4 (2010), a repetitividade para o método gravimétrico deve ser de 0,02% para no mínimo três ciclos (bidirecional) ou no mínimo três corridas (unidirecional) para cada trecho. A Tabela 7.11 mostra os dados tratados de acordo com as recomendações da norma.

Tabela 7.11: Incerteza obtida no método gravimétrico para três corridas para cada trecho.

Trecho	Nível de Vazão	Volume Médio (L)	Incerteza Combinada Relativa (%)	Incerteza Expandida Relativa (%)	Desvio Padrão (%)
S1-S4	Máxima	19,85	0,17	0,47	0,28
	Intermediária	19,83	0,11	0,32	0,18
	Mínima	19,84	0,13	0,37	0,22
S4-S1	Máxima	21,09	0,06	0,16	0,07
	Intermediária	20,77	0,07	0,19	0,10
	Mínima	20,45	0,09	0,26	0,15

(Nível de Confiança = 95,00%; Graus de Liberdade = 2)

Observando os valores das incertezas expandidas relativas e do desvio padrão (repetitividade), nota-se que estes não satisfazem a norma, mostrando valores superiores ao recomendado. Isso pode estar relacionado ao fato do acionamento manual da válvula de três vias utilizada, contribuindo assim com a incerteza da medida.

7.4 Pressão Controlada

Este teste tem como objetivo, verificar a influência da pressão na incerteza do provador. Para tanto, serão realizados dez ciclos com três níveis de pressão (0,50 , 0,75 e 1,00 kgf/cm^2) para três níveis de vazão (mínima, intermediária e máxima). Os resultados serão apresentado por nível de vazão para melhor visualização e comparação.

7.4.1 Vazão Máxima

Pode-se observar que a média da vazão acumulada nas Figuras 7.16, 7.17 e 7.18 apresentam uma tendência, porém somente no trecho S4-S1 para a pressão de 1,00 kgf/cm^2 , 10 corridas não foram suficientes para avaliar sua tendência. Quanto a vazão, os valores encontram-se dentro do nível de confiança escolhido.

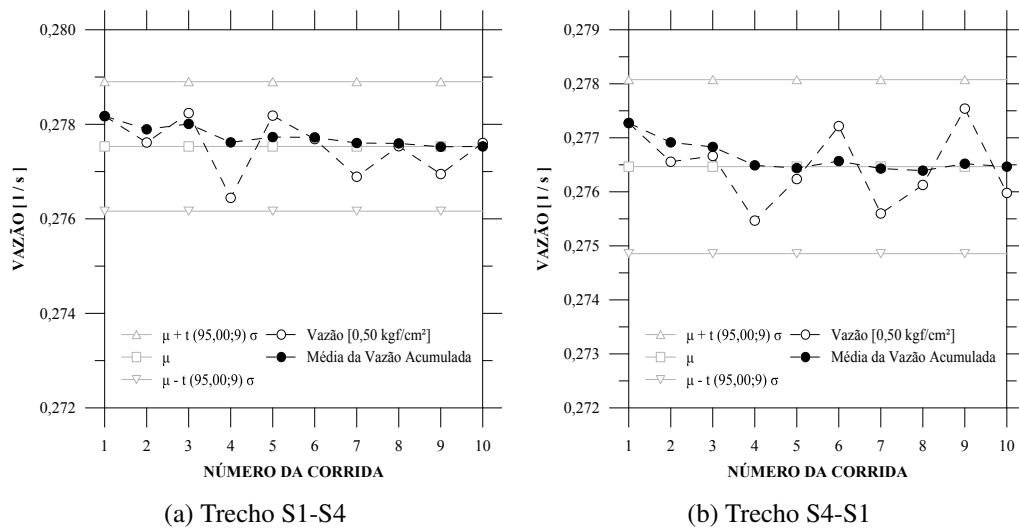


Figura 7.16: Resultado do teste de pressão controlada (0,50 kgf/cm^2) para a vazão máxima.

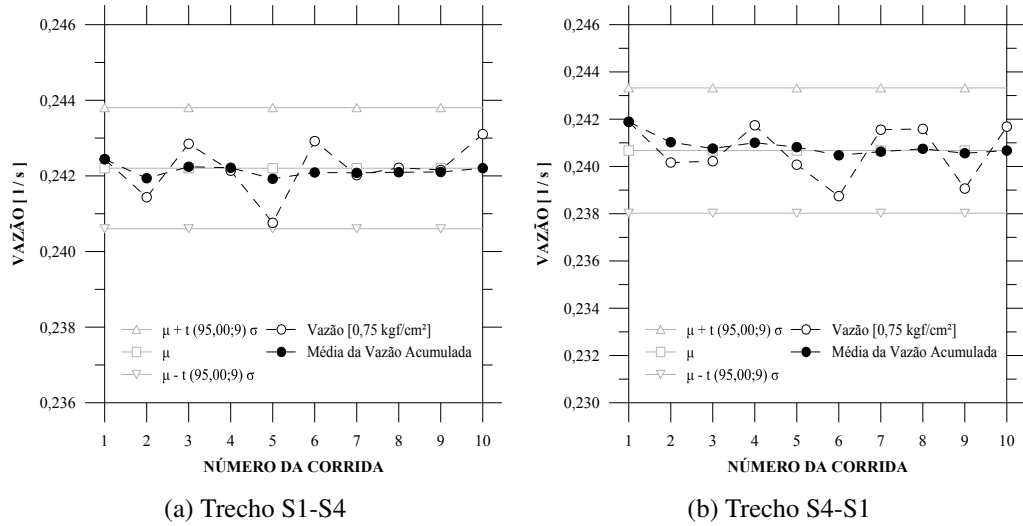


Figura 7.17: Resultado do teste de pressão controlada ($0,75 \text{ kgf/cm}^2$) para a vazão máxima.

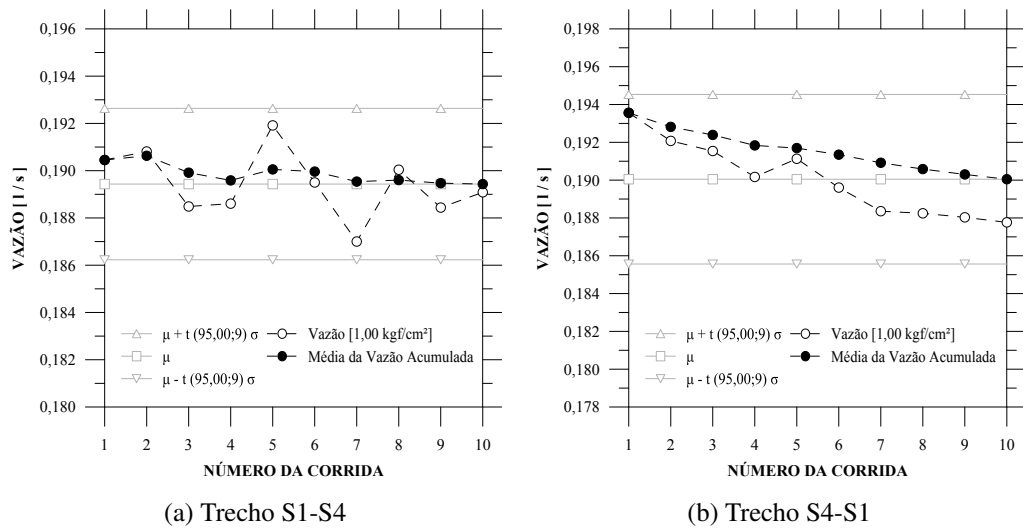


Figura 7.18: Resultado do teste de pressão controlada ($1,00 \text{ kgf/cm}^2$) para a vazão máxima.

7.4.2 Vazão Intermediária

Para este nível de vazão, nota-se nas Figuras 7.19, 7.20 e 7.21, que os valores de vazão permanecem dentro do nível de confiança de 95,00%. Para a pressão de $0,75 \text{ kgf/cm}^2$, a média da vazão acumulada sofre um descolamento da média, atingindo a tendência de $0,317 \text{ l/s}$ somente na décima corrida.

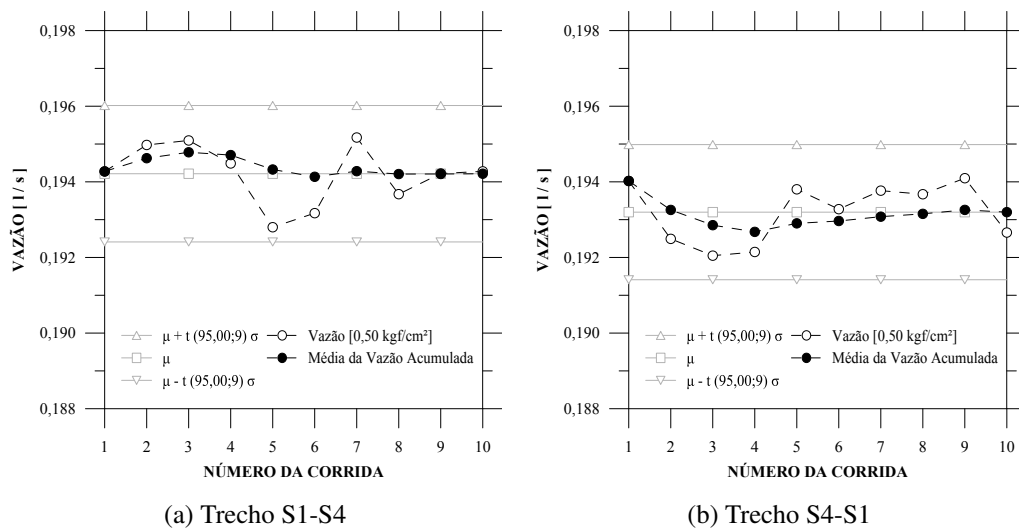


Figura 7.19: Resultado do teste de pressão controlada ($0,50 \text{ kgf/cm}^2$) para a vazão intermediária.

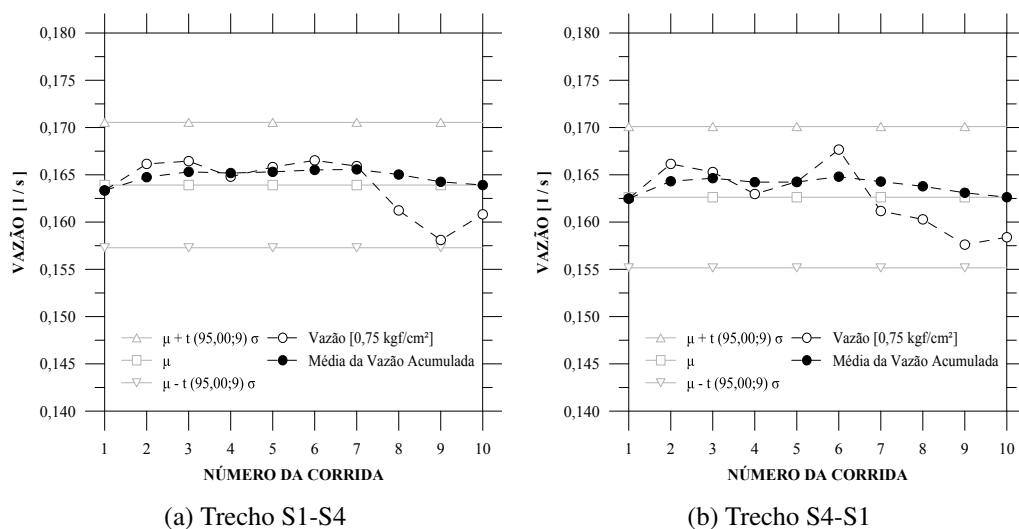


Figura 7.20: Resultado do teste de pressão controlada ($0,75 \text{ kgf/cm}^2$) para a vazão intermediária.

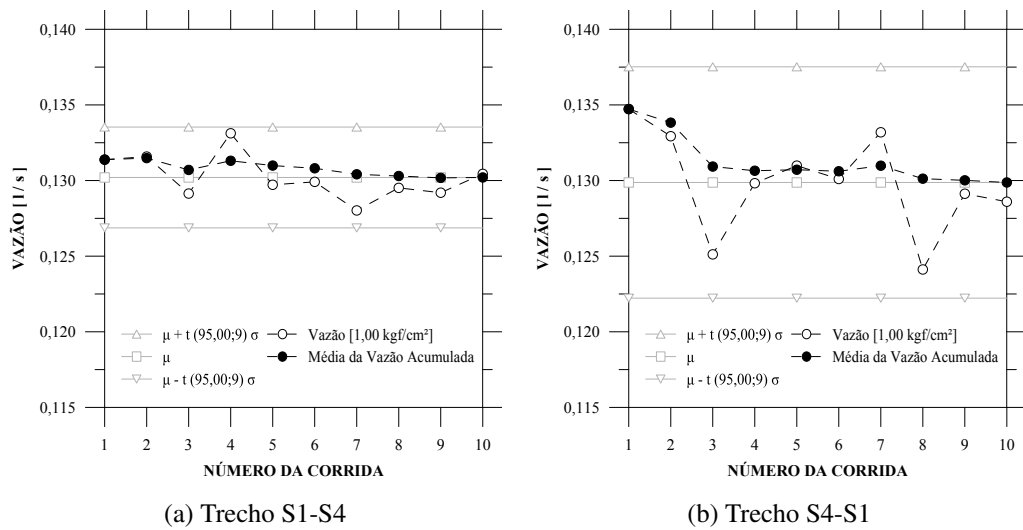


Figura 7.21: Resultado do teste de pressão controlada ($1,00 \text{ kgf/cm}^2$) para a vazão intermediária.

7.4.3 Vazão Mínima

Neste nível de vazão, os valores de vazão permanecerem dentro do nível de confiança (Figuras 7.22, 7.23 e 7.24), e para a pressão $0,50 \text{ kgf/cm}^2$ apresenta o mesmo comportamento que a pressão $0,75 \text{ kgf/cm}^2$ da vazão intermediária.

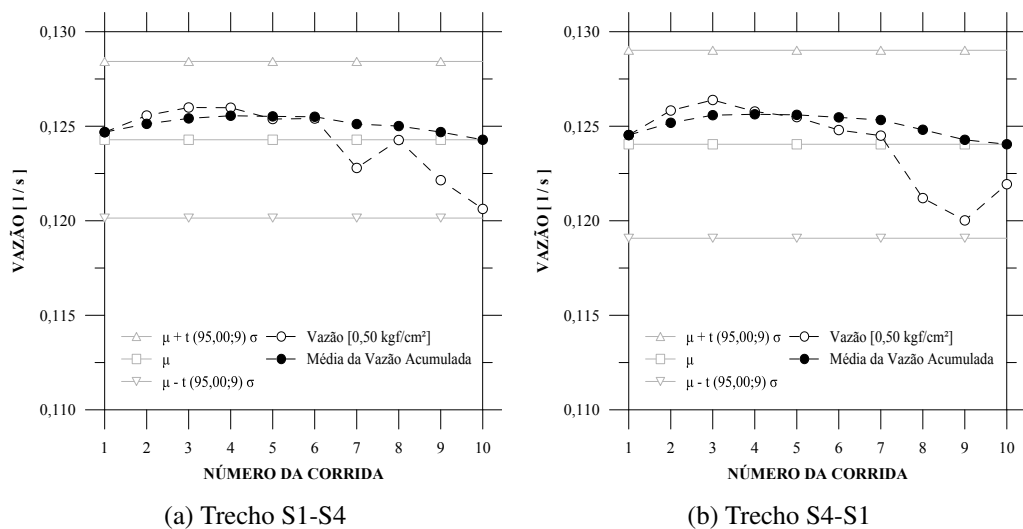


Figura 7.22: Resultado do teste de pressão controlada ($0,50 \text{ kgf/cm}^2$) para a vazão mínima.

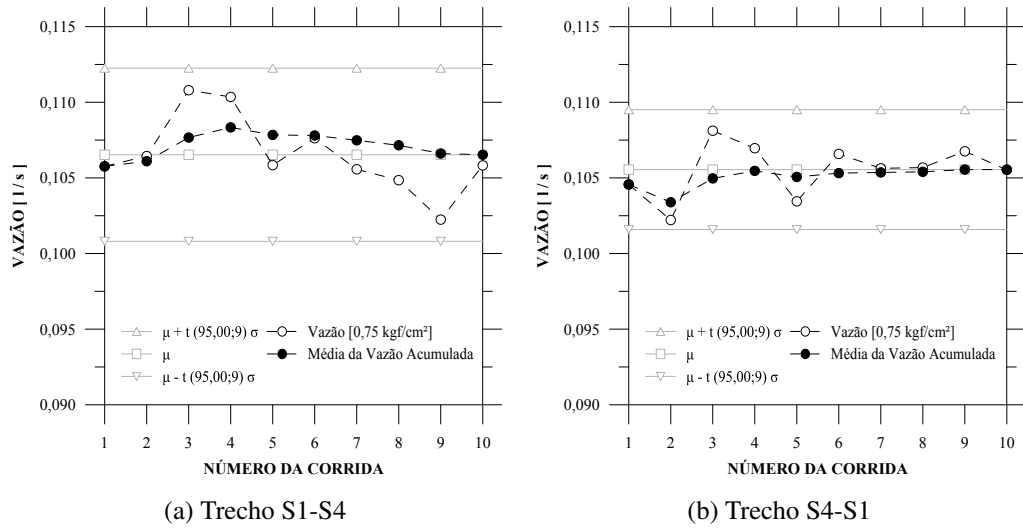


Figura 7.23: Resultado do teste de pressão controlada (0,75 kgf/cm²) para a vazão mínima.

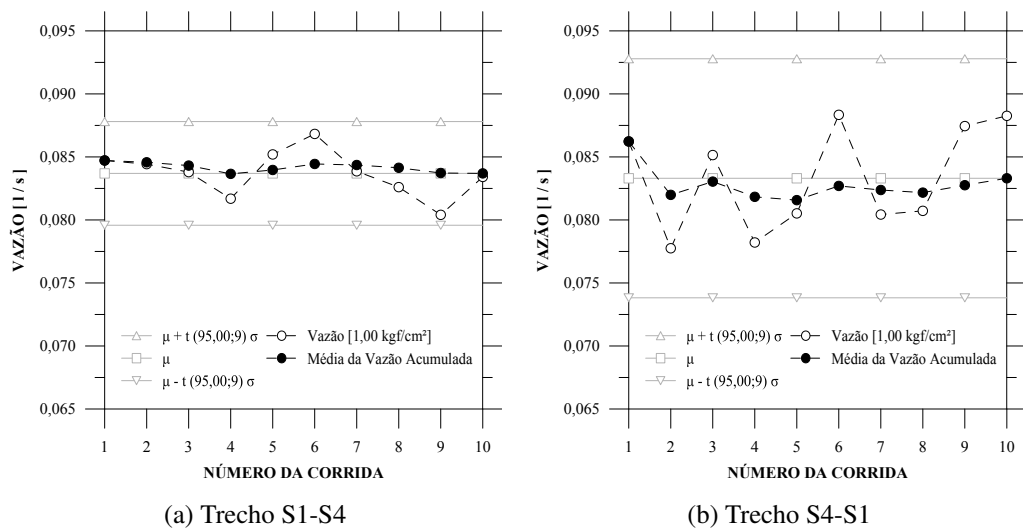


Figura 7.24: Resultado do teste de pressão controlada (1,00 kgf/cm²) para a vazão mínima.

As Figura 7.25 e 7.26 e as Tabelas 7.12 e 7.13 resumem os dados obtidos do teste com suas respectivas incertezas com dez corridas para cada trecho.

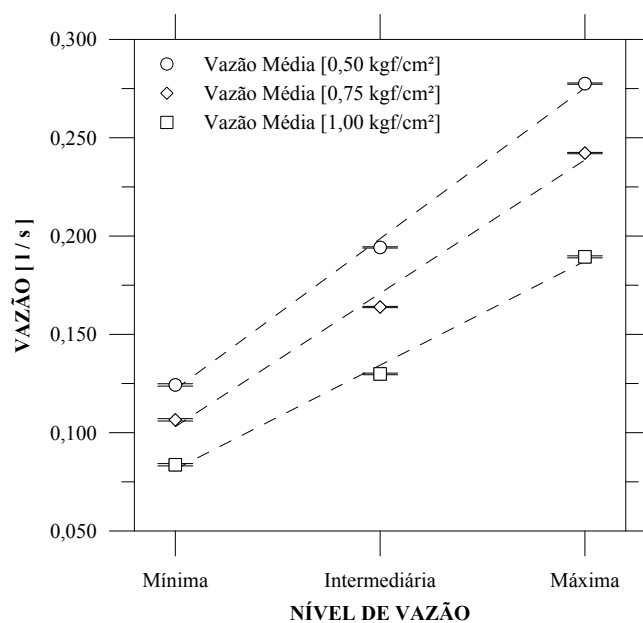


Figura 7.25: Resumo dos dados obtidos para o trecho S1-S4.

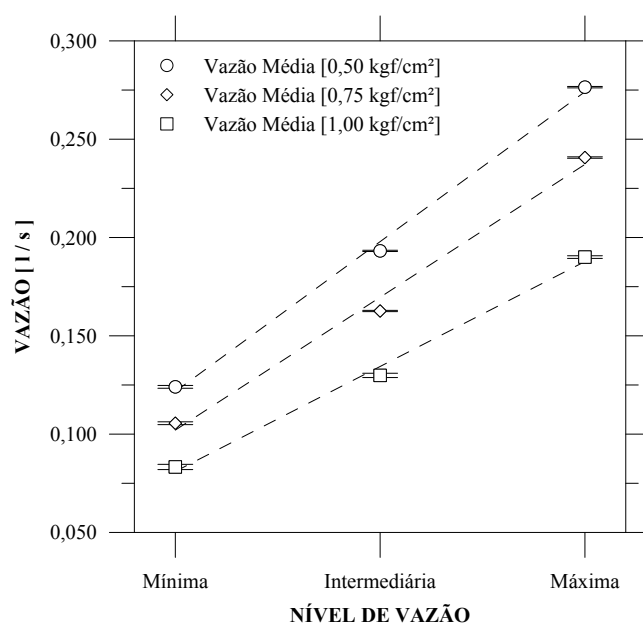


Figura 7.26: Resumo dos dados obtidos para o trecho S4-S1.

Tabela 7.12: Resumo dos dados obtidos para o trecho S1-S4.

Pressão (kgf/cm^2)	Nível de Vazão	Vazão Média (l/s)	Incerteza Combinada Relativa (%)	Incerteza Expandida Relativa (%)	Desvio Padrão (%)
0,50	Máxima	0,278	0,12	0,28	0,22
	Intermediária	0,194	0,16	0,37	0,41
	Mínima	0,124	0,48	1,09	1,47
0,75	Máxima	0,242	0,15	0,33	0,21
	Intermediária	0,164	0,59	1,32	1,79
	Mínima	0,107	0,76	1,71	2,38
1,00	Máxima	0,189	0,27	0,61	0,75
	Intermediária	0,130	0,32	0,73	1,13
	Mínima	0,084	0,70	1,59	2,17

(Nível de Confiança = 95,00% ; Graus de Liberdade = 9)

Tabela 7.13: Resumo dos dados obtidos para o trecho S4-S1.

Pressão (kgf/cm^2)	Nível de Vazão	Vazão Média (l/s)	Incerteza Combinada Relativa (%)	Incerteza Expandida Relativa (%)	Desvio Padrão (%)
0,50	Máxima	0,276	0,13	0,29	0,26
	Intermediária	0,193	0,16	0,37	0,41
	Mínima	0,124	0,58	1,30	1,77
0,75	Máxima	0,241	0,19	0,43	0,49
	Intermediária	0,163	0,65	1,48	2,03
	Mínima	0,106	0,54	1,22	1,66
1,00	Máxima	0,190	0,35	0,80	1,04
	Intermediária	0,130	0,84	1,90	2,61
	Mínima	0,083	1,60	3,62	5,04

(Nível de Confiança = 95,00% ; Graus de Liberdade = 9)

Nas Tabelas 7.12 e 7.13, nota-se que tanto o desvio padrão quanto a incerteza aumentam de acordo com o aumento do nível de pressão. Fato que pode estar relacionado com a baixa potência da bomba.

A incerteza utilizada para o teste de pressão, segue a mesma formulação da reprodutibilidade com o mesmo limite de incerteza de 0,02% para três corridas sucessivas para o provador unidirecional e três ciclos para o provador bidirecional. Para melhor avaliação do teste de pressão, a Figura 7.27 e a Tabela 7.14 fazem uma comparação da incerteza combinada do unidirecional e bidirecional conforme a norma ISO 7278-2 (1988).

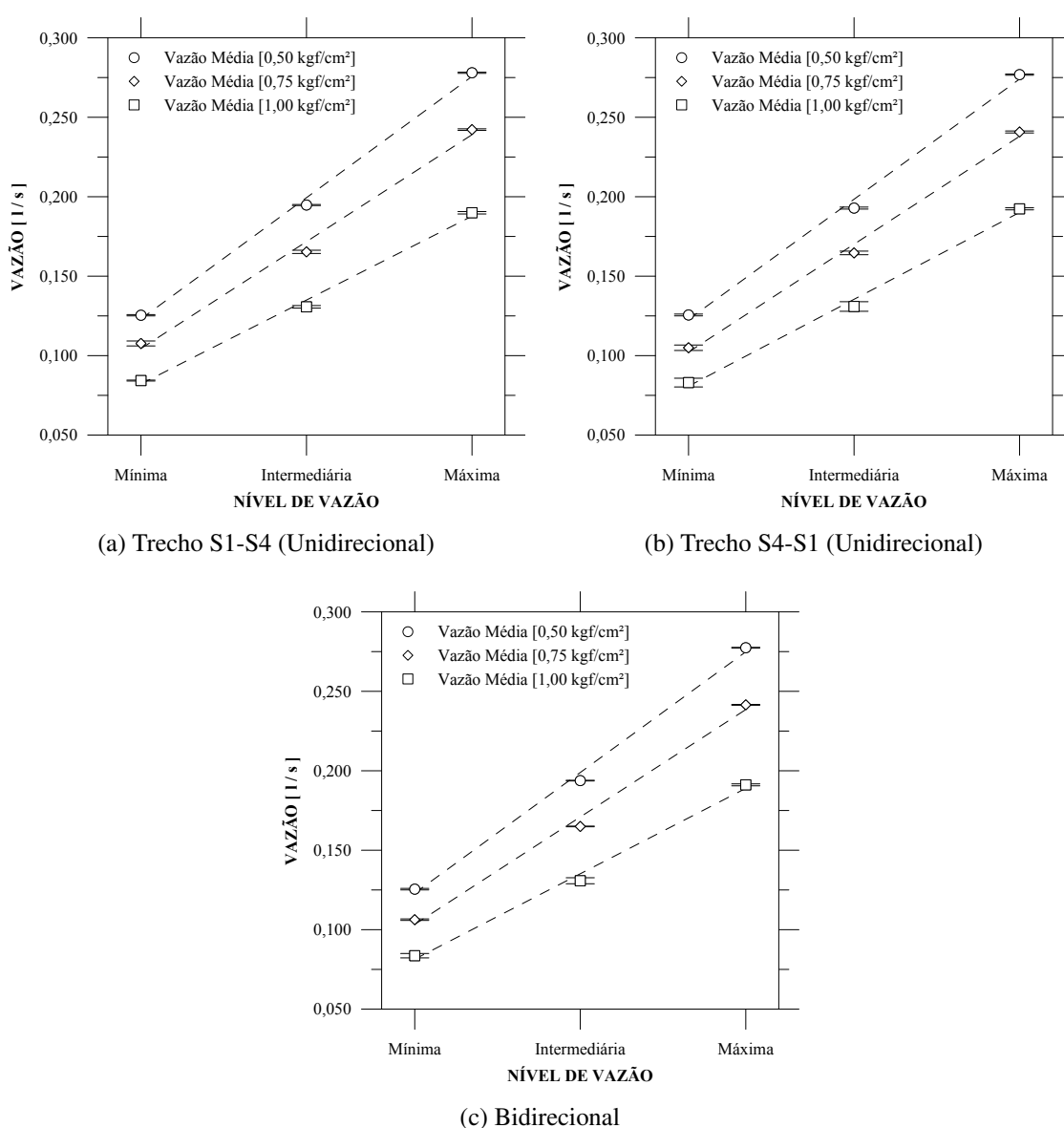


Figura 7.27: Resultado do teste de pressão conforme a norma ISO 7278-2.

Tabela 7.14: Resultado do teste de pressão conforme a norma ISO 7278-2.

Pressão (kgf/cm^2)	Nível de Vazão	Vazão Média (l/s)	Incerteza Combinada Relativa		
			Bidirecional (%)	Unidirecional Trecho S1-S4 (%)	Unidirecional Trecho S4-S1 (%)
0,50	Máxima	0,277	0,09	0,12	0,13
	Intermediária	0,194	0,11	0,17	0,33
	Mínima	0,125	0,38	0,32	0,45
0,75	Máxima	0,241	0,18	0,21	0,26
	Intermediária	0,165	0,64	0,61	0,69
	Mínima	0,106	1,48	1,45	1,63
1,00	Máxima	0,191	0,32	0,40	0,34
	Intermediária	0,131	1,45	0,62	2,30
	Mínima	0,084	1,66	0,35	3,31

A Tabela 7.14 mostra que a incerteza aumenta com a pressão. Observando as incertezas do teste bidirecional, nota-se que somente em alguns níveis de vazão esse obteve valores menores que o unidirecional. Já para pressão de $1,00\text{ }kgf/cm^2$ (bidirecional), as incertezas sofrem influência do trecho S4-S1, assim o trecho bidirecional apresenta incertezas maiores que o trecho S1-S4 (unidirecional).

7.5 Avaliação de Esferas com Diferentes Diâmetros

Antes da execução do experimento, é realizada uma análise dimensional das esferas utilizando um microscópio eletrônico de graduação $0,001\text{ mm}$ com amostragem de cinco planos e comparados com o diâmetro interno da tubulação determinado por Lavezzo (2010) com o valor médio de $53,00\text{ mm}$. Os dados são mostrados na Tabela 7.15.

Tabela 7.15: Avaliação dimensional das esferas.

Esferas	Diâmetro dos Planos					Média	Desvio Padrão	Comparação com o $\emptyset$ interno do tubo (%)
	1 (mm)	2 (mm)	3 (mm)	4 (mm)	5 (mm)			
A	55,56	55,83	56,01	55,86	55,88	55,83	0,1637	5,34
B	56,13	55,73	55,27	56,02	55,97	55,83	0,3436	5,33
2	53,05	53,34	53,79	53,38	52,58	53,23	0,4472	0,43
3	54,13	53,74	53,60	54,42	54,15	54,01	0,3339	1,90
4	54,10	54,11	54,30	54,17	54,46	54,23	0,1519	2,32
5	54,21	53,75	54,30	54,00	53,72	53,99	0,2616	1,88
6	53,27	53,60	53,24	53,42	54,16	53,54	0,3738	1,02
7	54,23	54,04	53,66	53,79	54,24	53,99	0,2603	1,87

A norma ISO 7278-2 (1988) recomenda que as esferas tenham o diâmetro de pelo menos 2 % a mais que o diâmetro interno da tubulação, então as esferas devem apresentar um diâmetro médio de $54,06\text{ mm}$ para se enquadrarem na norma. A figura abaixo resume a tabela anterior e realiza uma comparação dos diâmetros.

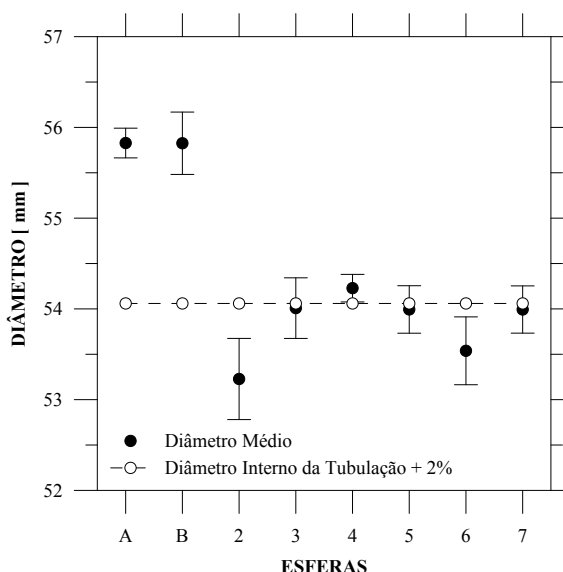


Figura 7.28: Comparação das esferas quanto ao diâmetro médio e o desvio padrão.

Desta forma, as esferas A e B foram escolhidas para diâmetros superiores, a esfera 5 para seguir o recomendado da norma enquanto que a esfera 6 para verificar a interferência menor que 2 %. As esferas serão avaliadas por gráficos de vazão e de média da vazão acumulada com três níveis de vazão nos trechos S1-S4 e S4-S1, compostas por 20 ciclos cada trecho. Os gráficos abaixo não apresentam nenhum critério de rejeição.

7.5.1 Vazão Máxima

Nesse nível de vazão a esfera 5 apresenta uma tendência para média e baixa dispersão da vazão. Enquanto que para a esfera 6, a média da vazão acumulada no início do trecho S1-S4 apresenta uma tendência crescente e somente depois de 12 ciclos que se estabiliza. Para as esferas A e B, era esperado uma dificuldade de tendência, no entanto, nessa vazão apresentaram uma boa tendência.

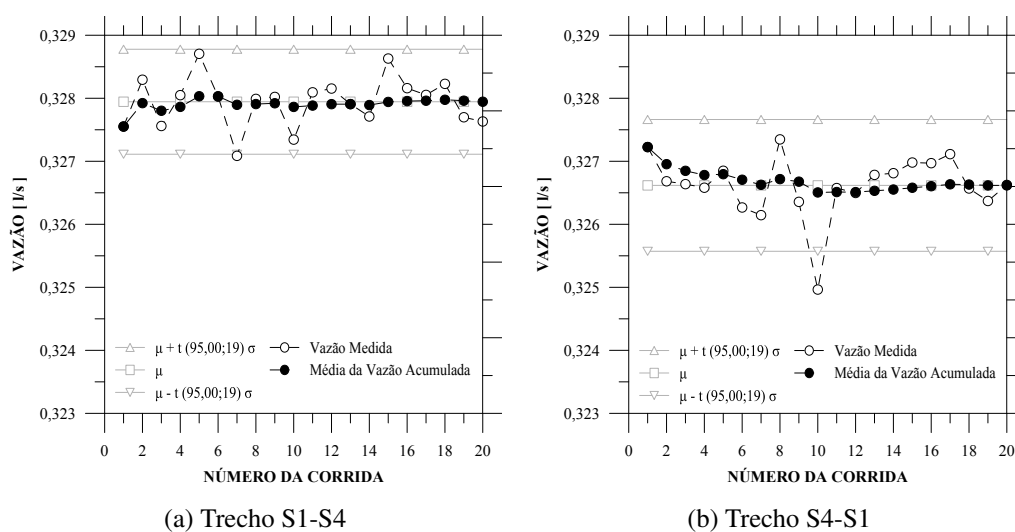


Figura 7.29: Resultados da esfera 5 para vazão máxima.

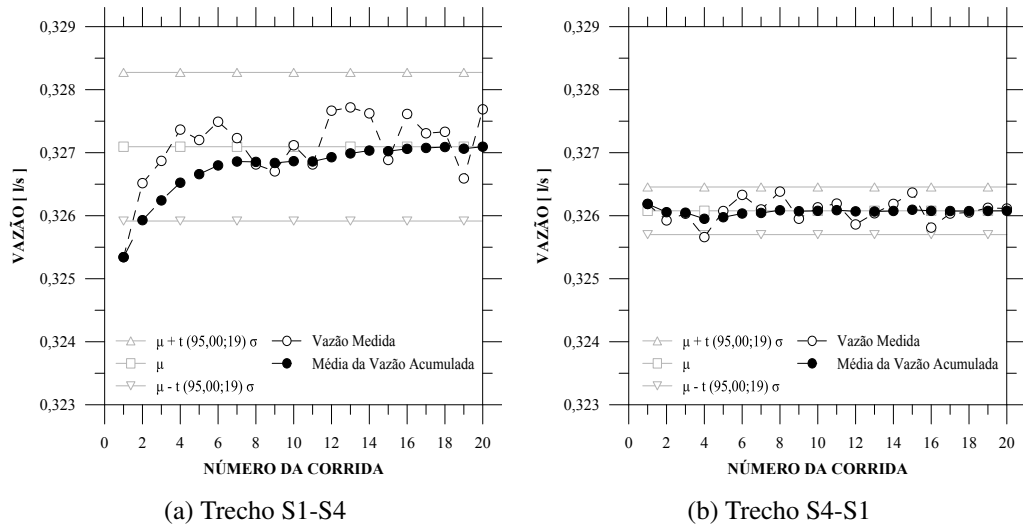


Figura 7.30: Resultados da esfera 6 para vazão máxima.

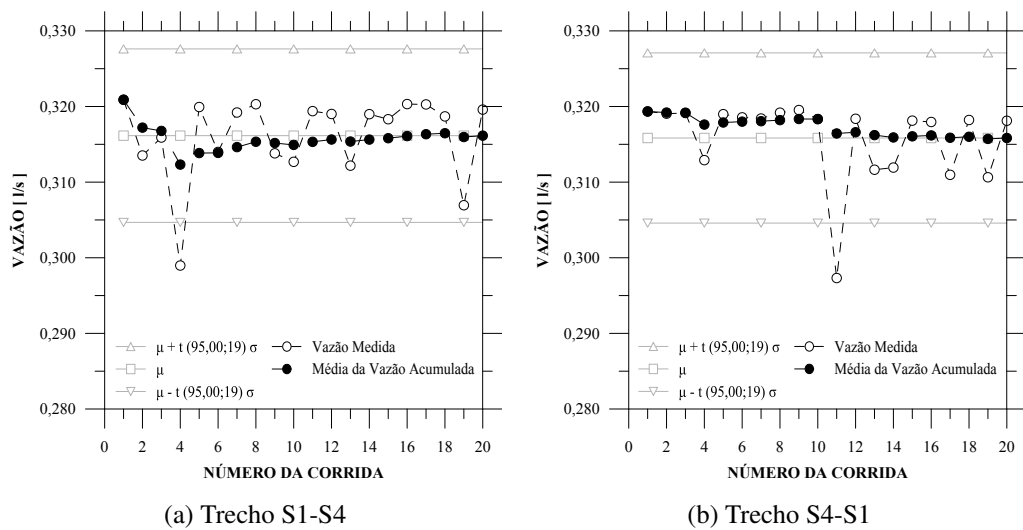


Figura 7.31: Resultados da esfera A para vazão máxima.

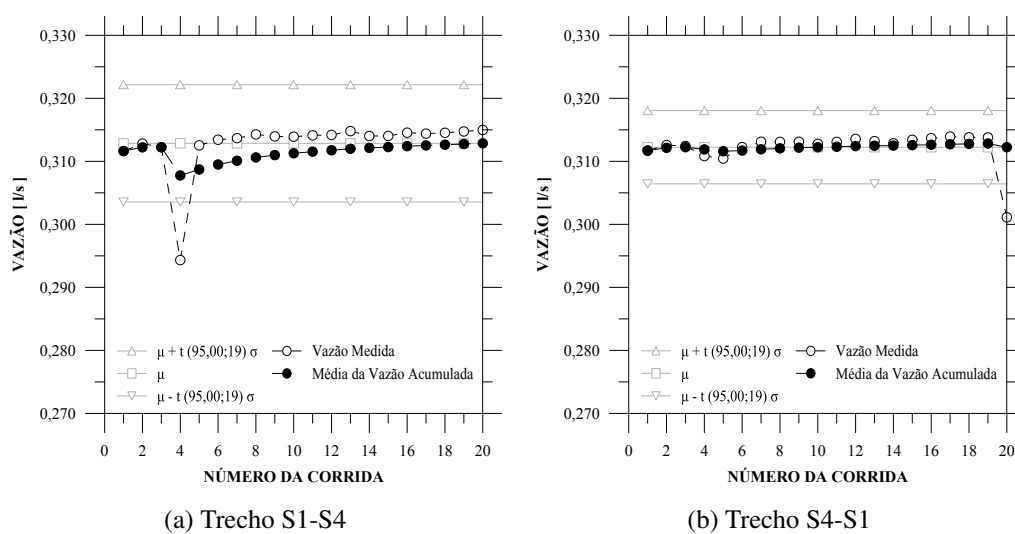


Figura 7.32: Resultados da esfera B para vazão máxima.

7.5.2 Vazão Intermediária

Para a vazão intermediária a esfera 5 apresenta uma dispersão dos valores de vazão muito baixa e a média da vazão acumulada assintota aproximadamente no ciclo 13.

As esferas de diâmetro superior a 2% obtiveram boa tendência vazão acumulada e quanto a vazão medida, demonstram uma quantidade de pontos mais dispersos quando comparado as figuras de vazão máxima, isso pode indicar falta de lubrificação da esfera e assim o movimento irregular dessa. A esfera B apresenta somente 16 ciclos devido a um erro no momento da exportação dos dados, mas esse fato não afeta a conclusão, desde que o número de observações seja suficiente.

No trecho S1-S4 da esfera 6, a vazão medida tem um comportamento anômalo acarretando uma dificuldade da vazão acumulada alcançar um valor médio. Já no trecho S4-S1 apesar de apresentar o efeito mais ameno, a vazão acumulada segue uma tendência. Esse efeito pode estar relacionado ao fato da esfera apresentar o diâmetro próximo ao da tubulação que permitiria o vazamento de fluido entre a esfera e a parede do tubo e assim prejudicando o comportamento do experimento.

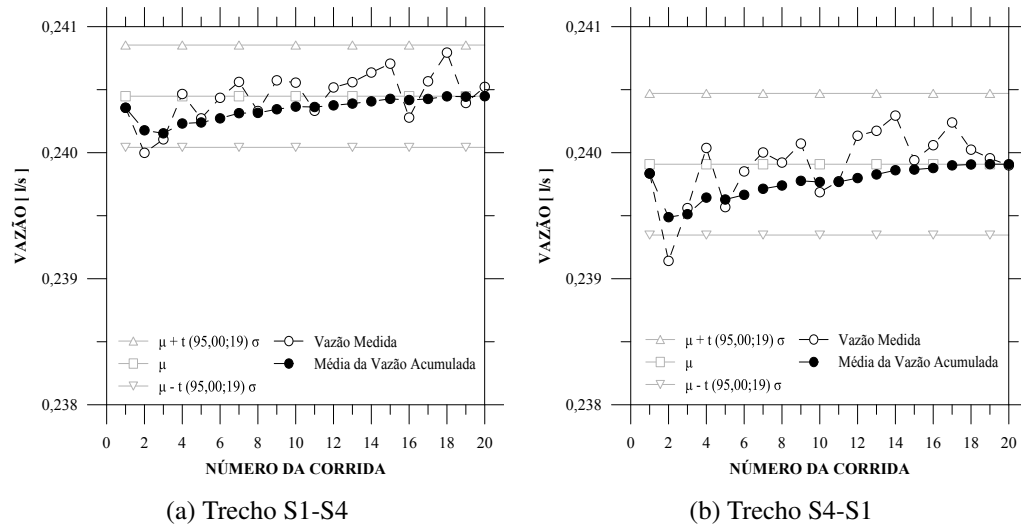


Figura 7.33: Resultados da esfera 5 para vazão intermediária.

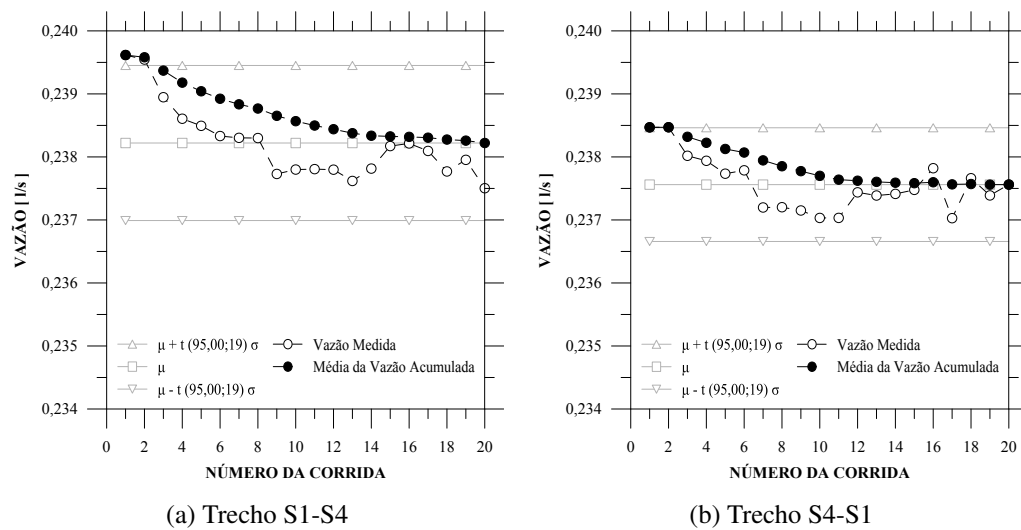


Figura 7.34: Resultados da esfera 6 para vazão intermediária.

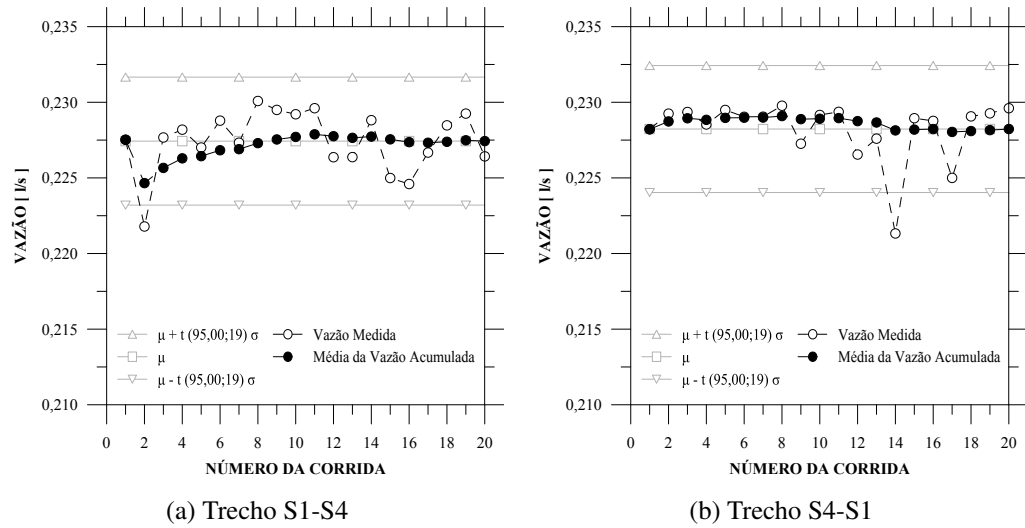


Figura 7.35: Resultados da esfera A para vazão intermediária.

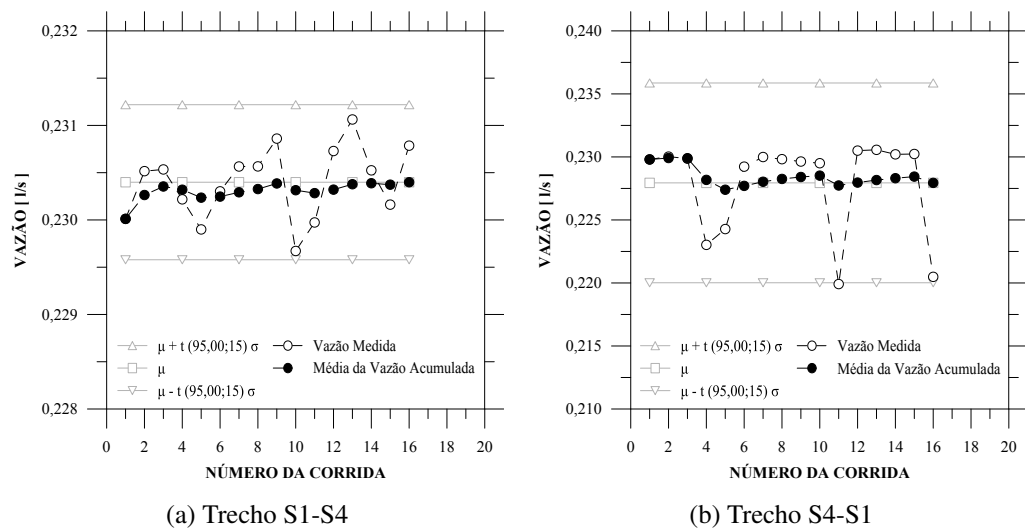


Figura 7.36: Resultados da esfera B para vazão intermediária.

7.5.3 Vazão Mínima

A esfera 5 obteve baixa dispersão dos valores para a vazão mínima e boa tendência para a média da vazão acumulada. No trecho S1-S4 apesar de apresentar certa tendência da média da vazão acumulada, essa somente atinge no último ciclo enquanto que o trecho S4-S1 apresentam melhores resultados.

Para a esfera A mesmo com 20 ciclos não é possível confirmar a tendência da média da vazão acumulada em ambos os trechos e a vazão por volta do ciclo 15 apresenta um aumento significativo da vazão, fato esse podendo estar relacionado a lubrificação da esfera. Enquanto que a esfera B obteve bons resultados da média acumulada da vazão com uma tendência a média bem definida.

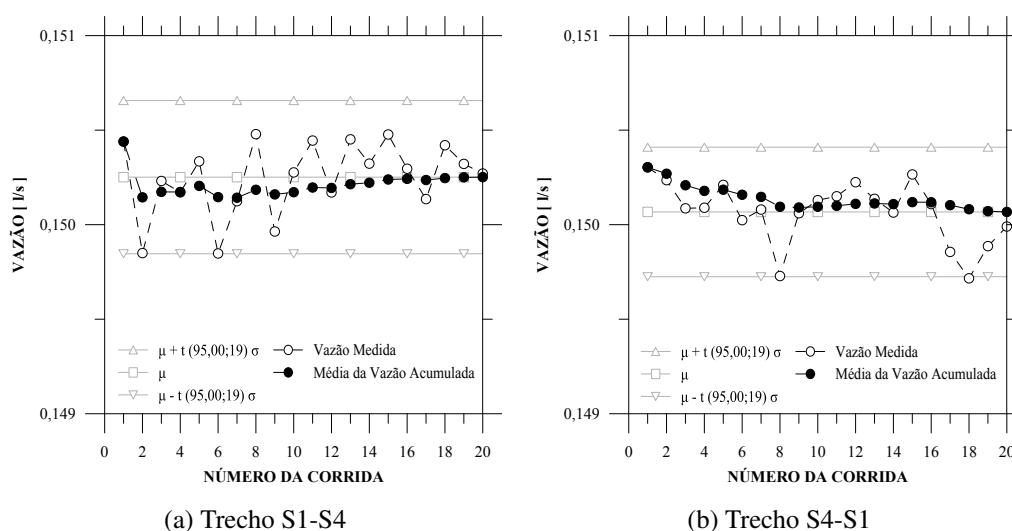


Figura 7.37: Resultados da esfera 5 para vazão mínima.

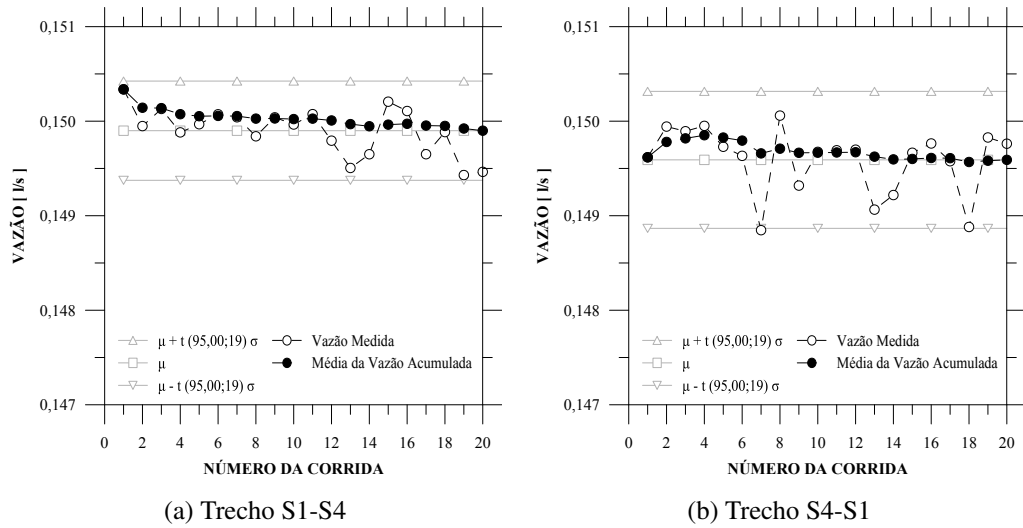


Figura 7.38: Resultados da esfera 6 para vazão mínima.

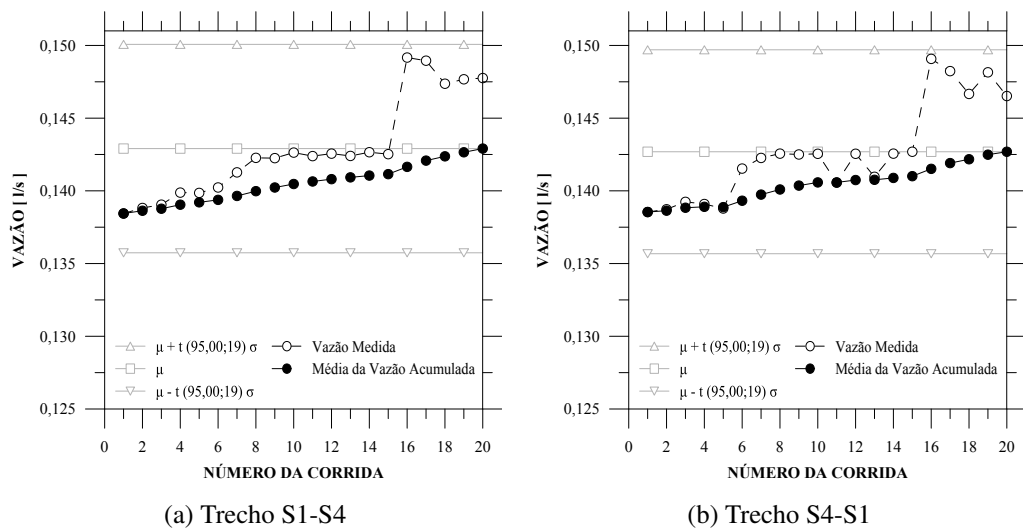


Figura 7.39: Resultados da esfera A para vazão mínima.

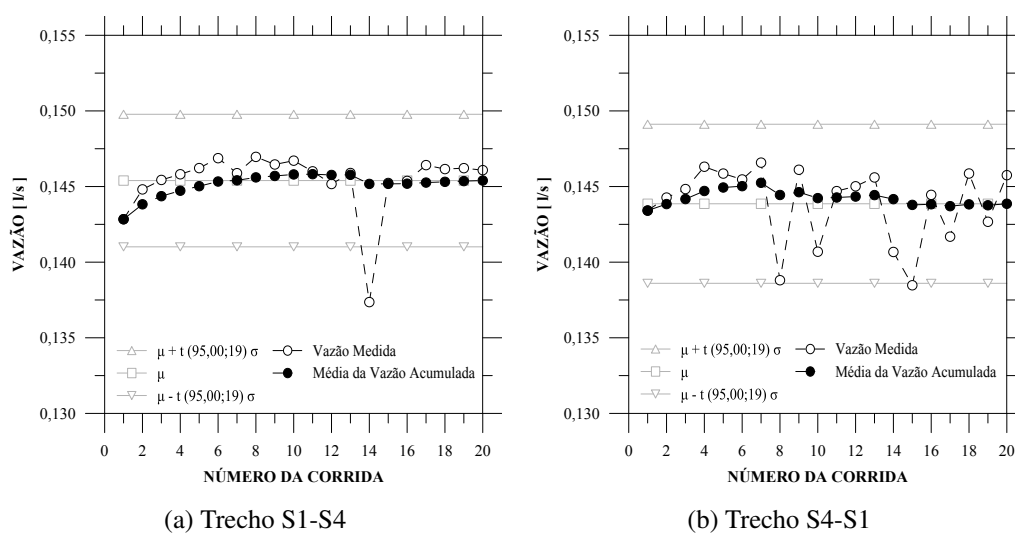


Figura 7.40: Resultados da esfera B para vazão mínima.

Para que possa comparar as incertezas obtidas com a norma ISO 7278-2 (1988), é adotado três corridas para o trecho S1-S4 e S4-S1 e três ciclos para o bidirecional (soma dos dois trechos). Assim as incertezas obtidas são demonstradas nas tabelas 7.16 a 7.19.

Tabela 7.16: Incertezas obtidas da esfera 5.

	Nível de Vazão	Vazão Média (l/s)	Incerteza Combinada Relativa (%)	Incerteza Expandida Relativa (%)	Desvio Padrão (%)
S1-S4	Máxima	0,328	0,12	0,53	0,13
	Intermediária	0,240	0,10	0,44	0,08
	Mínima	0,150	0,15	0,63	0,20
S4-S1	Máxima	0,327	0,11	0,48	0,10
	Intermediária	0,240	0,12	0,54	0,15
	Mínima	0,150	0,10	0,43	0,07
Bidirecional	Máxima	0,327	0,08	0,32	0,06
	Intermediária	0,240	0,09	0,39	0,11
	Mínima	0,150	0,09	0,39	0,11

(Nível de Confiança = 95,00% ; Graus de Liberdade = 2)

Tabela 7.17: Incertezas obtidas da esfera 6

	Nível de Vazão	Vazão Média (l/s)	Incerteza Combinada Relativa (%)	Incerteza Expandida Relativa (%)	Desvio Padrão (%)
S1-S4	Máxima	0,326	0,17	0,74	0,25
	Intermediária	0,239	0,13	0,55	0,15
	Mínima	0,150	0,12	0,51	0,13
S4-S1	Máxima	0,326	0,10	0,43	0,04
	Intermediária	0,238	0,11	0,48	0,11
	Mínima	0,150	0,11	0,49	0,12
Bidirecional	Máxima	0,326	0,09	0,39	0,11
	Intermediária	0,239	0,10	0,43	0,13
	Mínima	0,150	0,07	0,28	0,02

(Nível de Confiança = 95,00% ; Graus de Liberdade = 2)

Tabela 7.18: Incertezas obtidas da esfera A.

	Nível de Vazão	Vazão Média (l/s)	Incerteza Combinada Relativa (%)	Incerteza Expandida Relativa (%)	Desvio Padrão (%)
S1-S4	Máxima	0,317	0,69	2,97	1,19
	Intermediária	0,226	0,87	3,75	1,49
	Mínima	0,139	0,16	0,69	0,22
S4-S1	Máxima	0,319	0,10	0,45	0,05
	Intermediária	0,229	0,19	0,80	0,27
	Mínima	0,139	0,18	0,77	0,26
Bidirecional	Máxima	0,318	0,36	1,56	0,62
	Intermediária	0,227	0,42	1,79	0,71
	Mínima	0,139	0,15	0,65	0,24

(Nível de Confiança = 95,00% ; Graus de Liberdade = 2)

Tabela 7.19: Incertezas obtidas da esfera B.

	Nível de Vazão	Vazão Média (l/s)	Incerteza Combinada Relativa (%)	Incerteza Expandida Relativa (%)	Desvio Padrão (%)
S1-S4	Máxima	0,312	0,15	0,64	0,19
	Intermediária	0,230	0,12	0,52	0,13
	Mínima	0,144	0,55	2,38	0,94
S4-S1	Máxima	0,312	0,13	0,57	0,15
	Intermediária	0,230	0,10	0,43	0,05
	Mínima	0,144	0,30	1,30	0,50
Bidirecional	Máxima	0,312	0,12	0,51	0,17
	Intermediária	0,230	0,08	0,35	0,08
	Mínima	0,144	0,42	1,80	0,72

(Nível de Confiança = 95,00% ; Graus de Liberdade = 2)

Ao se observar as figuras de comparação de incertezas e de vazão acumulada, pode ser visto que para a vazão máxima, mesmo a média da vazão acumulada apresentando uma tendência, a esfera A apresenta maiores incertezas. Na vazão intermediária somente as esferas de maior diâmetro atingem uma tendência logo no início do experimento, porém a esfera A obteve incertezas altas. Já na vazão mínima, apesar da esfera A obter incertezas no mesmo patamar que as esferas 5 e 6, sua média da vazão acumulada não apresenta uma tendência, mesmo depois de 20 corridas.

Quando as incertezas combinadas são comparadas a norma, observa-se que para qualquer nível de vazão essas são maiores que o recomendado e a incerteza expandida apresenta um aumento devido a correção de t-Student para dois graus de liberdade, fazendo com que se distancie mais do recomendado. As Figuras 7.41, 7.42 e 7.43 apresentam uma melhor visualização para comparação das incertezas combinadas obtidas do teste de esferas de diferentes diâmetros.

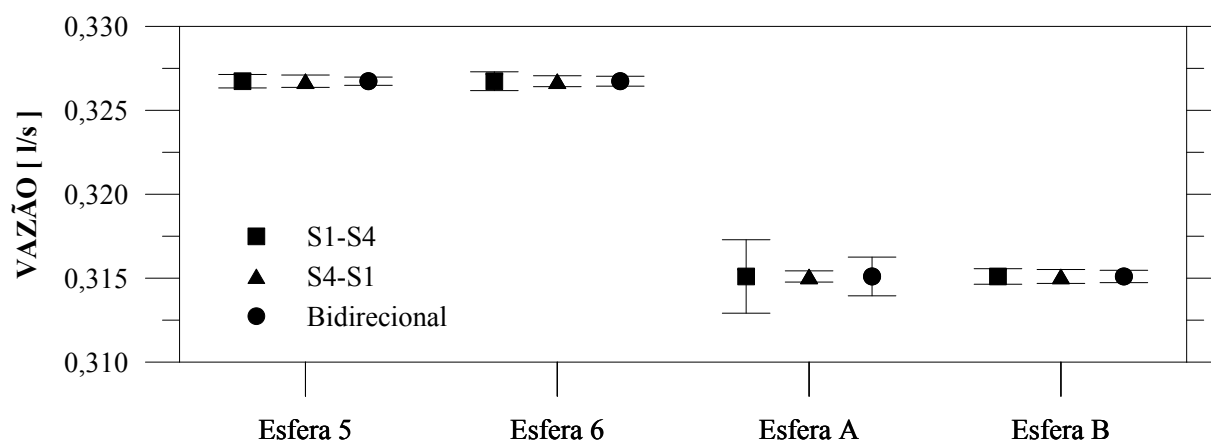


Figura 7.41: Comparação das incertezas combinadas para vazão máxima.

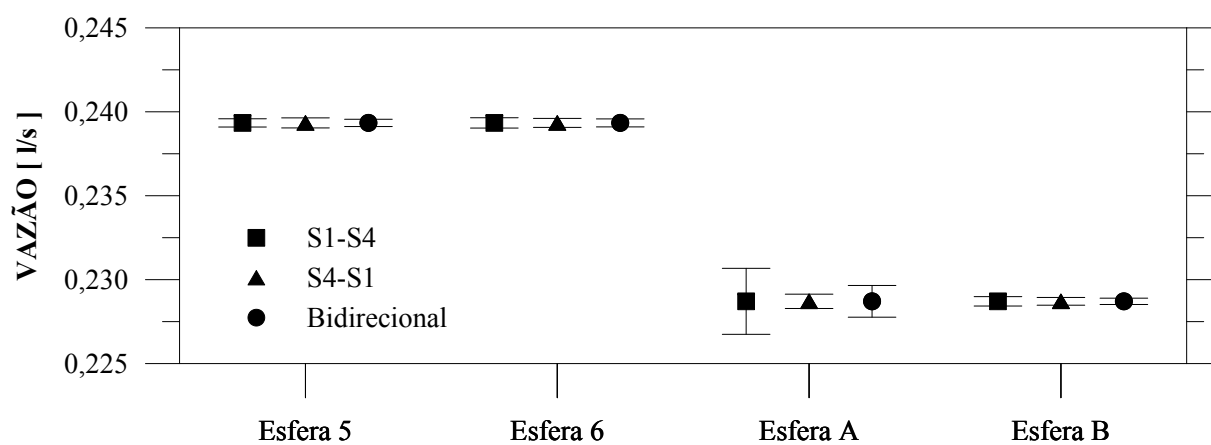


Figura 7.42: Comparação das incertezas combinadas para vazão intermediária.

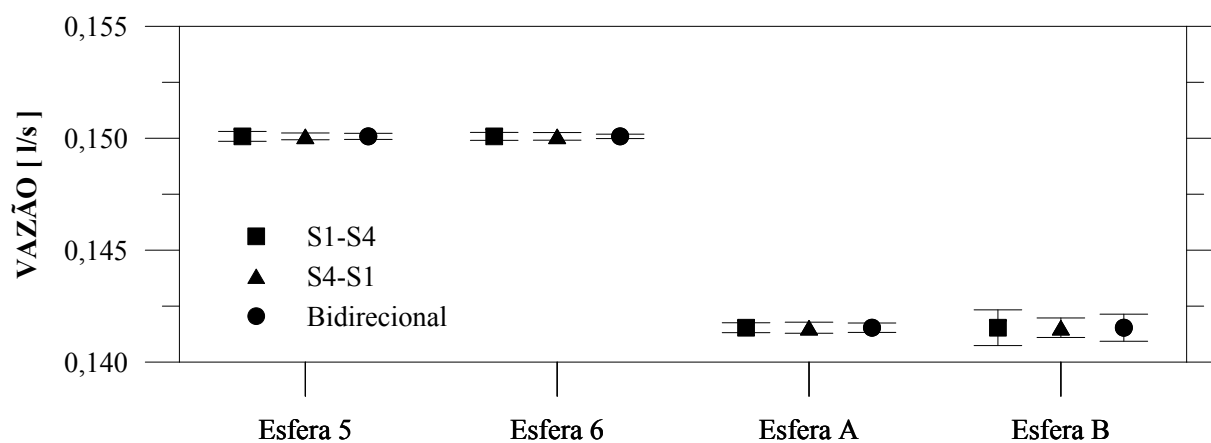


Figura 7.43: Comparação das incertezas combinadas para vazão mínima.

Capítulo 8

Conclusão

O presente trabalho trata de uma análise experimental do *pipe prover* em escala laboratorial. Testes foram executados para verificar a reprodutibilidade do provador bem como avaliar o sistema de detecção por sensores de luz infravermelha. Algumas propostas de trabalho futuros sugeridas por Lavezzo (2010) foram atendidas como: avaliação da incerteza para esferas de diâmetro maiores e aplicação do método gravimétrico.

No início dos experimentos foi detectado um problema no sistema de detecção das esferas. Depois de analisar os possíveis problemas, chegou-se ao consenso na troca dos sensores, por esses trabalharem acima do limite especificado pelo fabricante.

Como relatado no teste de esferas de diferentes diâmetros, a norma ISO 7278-2 (1988) recomenda que a esfera seja em torno de 2% maior que o diâmetro interno da tubulação. Pela análise dos dados obtidos, percebe-se que os trechos S1-S4 e S4-S1 apresentam diferenças dos valores das incertezas, sendo as do trecho de ida maiores que o trecho de volta.

Apesar das esferas de maior diâmetro apresentarem tendência da média da vazão acumulada, nota-se que com a diminuição da vazão do provador há o aumento da variação da vazão que pode ser causado pela falta de lubrificação que acarreta em movimento irregular além do desgaste excessivo da esfera. Quanto a esfera 6, diâmetro menor que 2%, obteve incertezas parecidas com a esfera 5, porém na vazão intermediária a tendência da média da vazão acumulada não é conclusiva além dos diâmetros dos planos obtidos estarem próximos ao da tubulação, permitindo vazamento entre a esfera e o tubo. Devido aos fatos relacionados não é recomendado a utilização de esferas com diâmetros nem superiores ou inferiores a 2%.

No teste gravimétrico, a diferença das incertezas obtidas nos trechos de ida (S1-S4) e de volta (S4-S1) ficam mais evidentes. Ao se observar os resultados obtidos no teste, o trecho de ida obteve valores de volume iguais ao encontrado por Lavezzo (2010) porém com incertezas superiores ao trecho de volta. Esse, por sua vez, obteve volumes maiores, porém com incertezas menores. Como relatado anteriormente por Comstock (2006), que diferentes volumes são aceitáveis desde que os sensores sejam neutros no trecho.

Apesar do teste gravimétrico obter as repetitividades, 0,23% (trecho de ida) e 0,11% (trecho de volta), e incertezas, 0,13% (trecho de ida) e 0,07% (trecho de volta), maiores que o recomendado pela norma API MPMS 4.9.4 (2010), ainda há meios de reduzi-lá, uma das formas é o acionamento automático da válvula de três vias que interligada ao sistema de detecção da esfera irá reduzir e uniformizar o tempo de acionamento dessa.

Nos testes de pressão controlada realizados, mostram que para dez ciclos o aumento da pressão no provador ocasiona o aumento da incerteza da medição e a diminuição da vazão, essa última já esperada. As incertezas obtidas de ambos os trechos sofrem um aumento no valor quando os dados são adequados as recomendações da norma ISO 7278-2 (1988). Na análise bidirecional as incertezas foram menores somente quando os trechos unidirecionais apresentavam valores próximos.

Embora as incertezas obtidas do teste de pressão controlada estejam superiores ao recomendado, as médias da vazão acumulada apresentaram boa tendência se comparada com a reprodutibilidade. Para uma melhora dos resultados obtidos, recomenda-se a substituição da moto-bomba por uma de maior potência, visto que a utilizada trabalhou no seu limite para a pressão máxima do teste ($1,00 \text{ kgf/cm}^2$), desta forma não recomendado a utilização da bomba utilizada para medições com pressões controladas.

As análises de dados foram realizadas com o máximo de corridas coletadas para cada teste, após a aplicação do critério de rejeição algumas corridas eram eliminadas dos cálculos devido não estarem de acordo com o critério adotado. Ao se adequar os dados as recomendações das normas utilizadas, percebeu-se que algumas corridas que se enquadravam na norma haviam sido eliminados pelo critério antes da adequação.

Um exemplo desse fato ocorre na esfera A no trecho S1-S4 do teste de esferas de diferentes diâmetros, cuja incerteza combinada relativa calculada utilizando as três primeiras corridas foi de 0,9%. Elimina-se a segunda corrida ao se aplicar o critério de rejeição, desta forma para permanecer com três corridas foi acrescentada a quarta corrida, assim a incerteza combinada

relativa encontrada foi de 0,1%. Uma redução de nove vezes do valor da incerteza, assim este trabalho sugere uma modificação da norma que visa adotar algum critério de rejeição além de aumentar o número de corridas possibilitando uma melhor avaliação dos dados.

Ao se analisar os dados de reprodutibilidade foi notado que as vazões obtidas não apresentavam variações abruptas, como Lavezzo (2010) havia relatado em seu trabalho. Na comparação dos trabalhos, observa-se que há uma redução da incerteza para a vazão mínima além da vazão obtida permanecer em torno da média, assim o provador no teste de reprodutibilidade comprova a capacidade de obter bons resultados para diferentes lugares e operadores, obedecendo desta forma os requisitos para reprodutibilidade, porém tanto a incerteza combinada relativa quanto a repetitividade ficaram superiores ao recomendado pela norma, 0,10% e 0,11% respectivamente.

Assim o protótipo não atende a recomendação de 0,02% para a repetitividade (ISO 7278-2, 1988). Assim para a calibração de medidores que necessitam do nível recomendado pela norma, o protótipo não atenderá, no entanto não invalida-o, pois poderá ser utilizado para a calibração de medidores que não necessitem do nível estabelecido como alternativa de baixo custo quando se comparado ao industrial.

Como trabalhos futuros que venham a complementar o estudo, pode-se citar:

- Avaliar o sistema quanto a substituição da bomba por uma de maior potência com repetição do teste de pressão controlada;
- Aumentar o volume base do provador e verificar o comportamento da incerteza;
- Verificar o interior da tubulação para constatar a diferença dos trechos de ida e volta;
- Automatizar a válvula de três vias;
- Instalar a turbina no retorno do provador para verificar a influência da bomba no medidor.

Referências Bibliográficas

- Andrade, P. C. N., Ferreira, L. E. A., e Rocha, P. S. M. (2006). Considerações sobre incerteza na medição de petróleo e gás. *Revista Analytica*, (23):72–75.
- ANP (2000). Portaria conjunta nº01. *Agência Nacional do Petróleo*.
- ANSI/ASME MFC-2M (1983). Measurement uncertainty for fluid flow in closed conduits. *The American Society of Mechanical Engineers (ASME)*.
- API 2531 (1965). Mechanical displacement meter provers. *American Petroleum Institute (API)*.
- API MPMS 13.1 (2002). Manual of petroleum measurement standards - chapter 13 - statistical aspects of measuring and sampling - section 1 - statistical concepts and procedures in measurement. *American Petroleum Institute (API)*.
- API MPMS 4.2 (1988). Manual of petroleum measurement standards - chapter 4 - proving systems - section 2 - conventional pipe provers. *American Petroleum Institute (API)*.
- API MPMS 4.9.4 (2010). Manual of petroleum measurement standards - chapter 4 - proving systems - section 9 - methods of calibration for displacement and volumetric tank provers - part 4 - determination of the volume of displacement and tank provers by the gravimetric method of calibration. *American Petroleum Institute (API)*.
- APLJaK Ventures (2012). Volumetric calibrations.
- Bos, R. (2009). Liquid flow provers: Operations of liquid of liquid flow provers. *International School of Hydrocarbon Measurement (ISHM)*.
- Comstock, D. M. (1985). Calibration of liquid provers. *International School of Hydrocarbon Measurement (ISHM)*.
- Comstock, D. M. (1990). Theory and application of pulse interpolation to prover systems. *International School of Hydrocarbon Measurement (ISHM)*.

- Comstock, D. M. (2006). Calibration of liquid provers. *International School of Hydrocarbon Measurement (ISHM)*, pages 515–523.
- Dobesh, E. L. (1983). Liquid flow provers. *International School of Hydrocarbon Measurement (ISHM)*.
- Engel, R. e Baade, H. J. (2012). Water density determination in high accuracy flowmeter calibration - measurement uncertainties and practical aspects. *Flow Measurement and Instrumentation*, 25:40–53.
- Garcia, E. N. e Sherief, N. M. A. (1999). Waterdraw calibration of a meter prover. *Saudi Aramco Journal of Technology*, pages 25–36.
- GUM (2003). Guia para a expressão da incerteza de medição. *ABNT / INMETRO*.
- Gyory, J. (1984). The determination and the uncertainty of a prover's base volume. *Measurement*, 2(4):191 – 196.
- ISO 3534-1 (1993). Statistics - vocabulary and symbols - part 1: Probability and general statistical terms. *International Organization for Standardization (ISO)*.
- ISO 4267-2 (1988). Petroleum and liquid petroleum products - calculation of oil quantities - part 2: Dynamit measurement. *International Organization for Standardization (ISO)*.
- ISO 7278-1 (1987). Liquid hydrocarbons - dynamic measurement - proving systems for volumetric meters – part 1: General principles. *International Organization for Standardization (ISO)*.
- ISO 7278-2 (1988). Liquid hydrocarbons - dynamic measurement - proving systems for volumetric meters – part 2: Pipe provers. *International Organization for Standardization (ISO)*.
- ISO 7278-3 (1998). Liquid hydrocarbons - dynamic measurement - proving systems for volumetric meters - part 3: Pulse interpolation techniques. *International Organization for Standardization (ISO)*.
- ISO 7278-4 (1999). Liquid hydrocarbons - dynamic measurement - proving systems for volumetric meters - part 4: Guide for operators of pipe provers. *International Organization for Standardization (ISO)*.
- ISO 8222 (2002). Petroleum measurement systems - calibration - temperature corrections for use when calibrating volumetric proving tanks. *International Organization for Standardization (ISO)*.

- Jakubenas, P. P. (1995). Advances in pipe prover technology. *3rd International Symposium on Fluid Flow Measurement*.
- Jeronymo, C. E., Araujo, S. B., e Aibe, V. Y. (2009). Implementation of double-timing pulse interpolation applied to compact piston provers. *5th Brazilian Congress of Metrology*.
- Lavezzo, L. F. Q. (2010). Análise experimental e avaliação das incertezas em medição de líquidos com referência tipo ball prover. Master's thesis, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).
- Lee, D. (2005). Small volume provers: Identification, terminology and definitions. *National Institute of Standards and Technology (NIST)*.
- Mendes, A. e Rosario, P. P. (2005). Metrologia e incerteza de medição. *Editora Epse*.
- Pfrehm, R. H. (1962). The calibrated pipe prover - an improved method for calibrating meters in lact units. *Journal of Petroleum Technology*, 14(10):1087–1090.
- Redilla, R. L. (1977). Design of displacement provers. *FMC Smith Meter Inc*.
- Ribeiro, M. A. (2010). Incerteza na medição. *Revista InTech*, (118).
- Ryan, B. S. (1999). Liquid flow provers (conventional). *International School of Hydrocarbon Measurement (ISHM)*.
- Silva, C. B. C. (2004). Incerteza na medição de vazão: Uma técnica simples, mas poderosa, para aumentar a produtividade, minimizar desperdícios e reduzir vazamentos para o meio ambiente. *Boletim Técnico da Petrobras*, (47):202–232.
- Su, S. Y. (1979). A statistical meter - proving method. *Journal of Petroleum Technology*, 31(9):1191–1193.
- Syrnyk, P. e Seiler, D. (2007). Use liquid ultrasonic meters for custody transfer. *Hydrocarbon Processing*, pages 91–96.
- TecnoFluid do Brasil LTDA (2008). Tvt-1 - medidor de vazão - tipo turbina em linha.
- Ting, V. C. e Halpine, J. C. (1991). Portable piston gas prover for field calibration of flowmeters. *SPE Production Engineering*, 6(4):454–458.
- Tyau, W. F. M. (1974). Ball prover and components thereof. (3,832,883).

Upp, E. L. e LaNasa, P. J. (2002). Fluid flow measurement: A practical guide to accurate flow measurement. *Gulf Professional Pub.*

VIM (2007). Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia. *Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO).*

Apêndice A

Resultados Experimentais

Experimento: Reprodutibilidade
Esferas de diferentes
diâmetros

Sentido: Horário
Trecho: S1-S4

Graus de Liberdade (ν): 19
Nível de Vazão: Máxima

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER										TURBINA						VAZÃO (l/s)					
		0,38 [kgf/cm²]	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA			
Horário	5	TEMPERATURA INICIAL [°C] 24,10		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]			
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)																						
1	14	24,15	60,61	1,0000	1,00087	1,00087	1,00019	1,00002	0,99905	19,85	19,83	19,83	9722	60,61	9722,20	9722,18	489,77	490,18	0,328	0,321	0,329			
2	14	24,20	60,47	1,0000	1,00088	1,00088	1,00019	1,00002	0,99904	19,85	19,83	19,83	9709	60,47	9709,80	9709,56	489,14	489,55	0,328	0,321	0,313			
3	14	24,24	60,61	1,0000	1,00089	1,00089	1,00019	1,00002	0,99903	19,85	19,83	19,83	9719	60,60	9719,76	9719,31	489,63	490,04	0,328	0,320	0,287			
4	14	24,27	60,52	1,0000	1,00090	1,00090	1,00019	1,00002	0,99902	19,85	19,83	19,83	9718	60,51	9718,50	9718,05	489,57	489,98	0,328	0,321	0,327			
5	14	24,29	60,40	1,0000	1,00090	1,00090	1,00019	1,00002	0,99902	19,85	19,83	19,83	9705	60,39	9705,96	9705,95	488,93	489,37	0,329	0,321	0,322			
6	14	24,31	60,52	1,0001	1,00091	1,00091	1,00019	1,00002	0,99901	19,85	19,83	19,83	9706	60,51	9707,11	9706,65	488,99	489,40	0,328	0,321	0,327			
7	14	24,34	60,69	1,0001	1,00091	1,00091	1,00019	1,00002	0,99901	19,85	19,83	19,83	9725	60,69	9725,63	9725,21	489,92	490,34	0,327	0,320	0,615			
8	14	24,36	60,53	1,0001	1,00092	1,00092	1,00019	1,00002	0,99900	19,85	19,83	19,83	9714	60,52	9714,90	9714,64	489,38	489,80	0,328	0,321	0,296			
9	14	24,37	60,52	1,0001	1,00092	1,00092	1,00019	1,00002	0,99900	19,85	19,83	19,83	9714	60,52	9714,23	9714,05	489,34	489,77	0,328	0,321	0,303			
10	14	24,39	60,65	1,0001	1,00092	1,00092	1,00019	1,00002	0,99899	19,85	19,83	19,83	9713	60,64	9713,41	9713,05	489,30	489,72	0,327	0,320	0,281			
11	14	24,41	60,51	1,0001	1,00093	1,00093	1,00019	1,00002	0,99899	19,85	19,83	19,83	9712	60,50	9712,73	9712,55	489,26	489,70	0,328	0,321	0,316			
12	14	24,41	60,50	1,0001	1,00093	1,00093	1,00019	1,00002	0,99899	19,85	19,83	19,83	9715	60,50	9715,25	9715,05	489,39	489,82	0,328	0,321	0,306			
13	14	24,42	60,54	1,0001	1,00093	1,00093	1,00019	1,00002	0,99899	19,85	19,83	19,83	9712	60,54	9712,43	9712,05	489,25	489,67	0,328	0,321	0,278			
14	14	24,44	60,58	1,0001	1,00093	1,00093	1,00019	1,00002	0,99898	19,85	19,83	19,83	9716	60,58	9716,37	9716,23	489,44	489,88	0,328	0,321	0,322			
15	14	24,46	60,41	1,0001	1,00094	1,00094	1,00019	1,00002	0,99898	19,85	19,83	19,83	9711	60,41	9711,40	9711,25	489,19	489,63	0,329	0,321	0,320			
16	14	24,46	60,50	1,0001	1,00094	1,00094	1,00019	1,00002	0,99898	19,85	19,83	19,83	9710	60,49	9711,03	9710,88	489,17	489,61	0,328	0,321	0,271			
17	14	24,46	60,52	1,0001	1,00094	1,00094	1,00019	1,00002	0,99898	19,85	19,83	19,83	9716	60,51	9717,16	9716,91	489,48	489,92	0,328	0,321	0,273			
18	14	24,48	60,48	1,0001	1,00094	1,00094	1,00019	1,00002	0,99897	19,85	19,83	19,83	9710	60,48	9710,71	9710,37	489,15	489,59	0,328	0,321	0,303			
19	14	24,48	60,58	1,0001	1,00094	1,00094	1,00019	1,00002	0,99897	19,85	19,83	19,83	9714	60,58	9714,41	9714,09	489,34	489,78	0,328	0,320	0,316			
20	14	24,48	60,59	1,0001	1,00094	1,00094	1,00019	1,00002	0,99897	19,85	19,83	19,83	9713	60,59	9713,46	9713,05	489,29	489,72	0,328	0,320	0,312			
μ			60,54										19,85	19,83	19,83	9714	60,53	9714,32	9714,05	489,35	489,77	0,328	0,321	0,321
s(x _i)			0,0736													5	0,0742	4,77	4,75	0,24	0,24	0,0004	0,0003	0,0718
u(x _i)			0,0164													1	0,0166	1,07	1,06	0,05	0,05	0,0001	0,0001	0,0161
RESULTADO																								
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)						Fatores de Correção							
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0003		0,001		95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa				Fator-k		Fator-k		MF			
																	Double-Timing		Processado					
			Incerteza Expandida (U)		0,0007		0,002		ts= 2,09 v= 19		2,26%		2,25%				489,35		489,77		1,022603			

Experimento: Reprodutibilidade
Esferas de diferentes
diâmetros

Sentido: Anti-horário
Trecho: S4-S1

Graus de Liberdade (ν): 18
Nível de Vazão: Máxima

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER										TURBINA						VAZÃO (l/s)		
		0,38 [kgf/cm²]	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA
Anti-Horário	5	TEMPERATURA INICIAL [°C] 24,10		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)																			
1	41	24,19	60,67	1,0000	1,00088	1,00088	1,00019	1,00002	0,99904	19,85	19,83	19,83	9710	60,66	9710,72	9710,69	489,18	489,60	0,327	0,320	0,297
2	41	24,23	60,77	1,0000	1,00089	1,00089	1,00019	1,00002	0,99903	19,85	19,83	19,83	9712	60,77	9712,63	9712,55	489,28	489,70	0,327	0,319	0,322
3	41	24,26	60,78	1,0000	1,00089	1,00089	1,00019	1,00002	0,99903	19,85	19,83	19,83	9709	60,78	9709,28	9709,18	489,10	489,53	0,327	0,319	0,278
4	41	24,29	60,79	1,0000	1,00090	1,00090	1,00019	1,00002	0,99902	19,85	19,83	19,83	9716	60,78	9716,56	9716,38	489,47	489,89	0,327	0,319	0,309
5	41	24,31	60,74	1,0001	1,00090	1,00090	1,00019	1,00002	0,99901	19,85	19,83	19,83	9708	60,74	9708,26	9708,23	489,05	489,48	0,327	0,319	0,276
6	41	24,33	60,85	1,0001	1,00091	1,00091	1,00019	1,00002	0,99901	19,85	19,83	19,83	9716	60,84	9716,77	9716,59	489,47	489,90	0,326	0,319	0,306
7	41	24,36	60,87	1,0001	1,00091	1,00091	1,00019	1,00002	0,99900	19,85	19,83	19,83	9712	60,86	9713,09	9712,64	489,29	489,70	0,326	0,319	0,310
8	41	24,37	60,65	1,0001	1,00092	1,00092	1,00019	1,00002	0,99900	19,85	19,83	19,83	9715	60,64	9715,20	9715,05	489,39	489,82	0,327	0,320	0,273
9	41	24,39	60,83	1,0001	1,00092	1,00092	1,00019	1,00002	0,99899	19,85	19,83	19,83	9712	60,83	9712,67	9712,29	489,26	489,69	0,326	0,319	0,312
10	41	24,40	61,09	1,0001	1,00092	1,00092	1,00019	1,00002	0,99899	19,85	19,83	19,83	9749	61,09	9749,83	9749,66	491,13	491,57	0,325	0,319	0,296
11	41	24,41	60,79	1,0001	1,00093	1,00093	1,00019	1,00002	0,99899	19,85	19,83	19,83	9715	60,79	9715,28	9715,05	489,39	489,82	0,327	0,319	0,293
12	41	24,43	60,80	1,0001	1,00093	1,00093	1,00019	1,00002	0,99898	19,85	19,83	19,83	9715	60,80	9715,11	9715,04	489,38	489,82	0,326	0,319	0,292
13	41	24,43	60,75	1,0001	1,00093	1,00093	1,00019	1,00002	0,99898	19,85	19,83	19,83	9712	60,75	9712,70	9712,63	489,26	489,70	0,327	0,320	0,308
14	41	24,45	60,75	1,0001	1,00094	1,00094	1,00019	1,00002	0,99898	19,85	19,83	19,83	9711	60,74	9711,81	9711,67	489,21	489,65	0,327	0,320	0,317
15	41	24,46	60,71	1,0001	1,00094	1,00094	1,00019	1,00002	0,99897	19,85	19,83	19,83	9711	60,71	9711,43	9711,32	489,19	489,64	0,327	0,320	0,305
16	41	24,46	60,72	1,0001	1,00094	1,00094	1,00019	1,00002	0,99897	19,85	19,83	19,83	9712	60,71	9712,92	9712,57	489,27	489,70	0,327	0,320	0,313
17	41	24,48	60,69	1,0001	1,00094	1,00094	1,00019	1,00002	0,99897	19,85	19,83	19,83	9709	60,68	9709,85	9709,66	489,11	489,55	0,327	0,320	0,294
18	41	24,48	60,79	1,0001	1,00094	1,00094	1,00019	1,00002	0,99897	19,85	19,83	19,83	9711	60,79	9711,18	9711,05	489,18	489,62	0,327	0,319	0,292
19	41	24,49	60,83	1,0001	1,00094	1,00094	1,00019	1,00002	0,99897	19,85	19,83	19,83	9713	60,83	9713,21	9713,09	489,28	489,73	0,326	0,319	0,309
20	41	24,50	60,78	1,0001	1,00095	1,00095	1,00019	1,00002	0,99896	19,85	19,83	19,83	9713	60,78	9713,75	9713,79	489,30	489,76	0,327	0,319	0,286
μ			60,77							19,85	19,83	19,83	9712	60,76	9712,76	9712,60	489,27	489,70	0,327	0,319	0,299
s(x _i)			0,0601										2	0,0600	2,36	2,33	0,12	0,12	0,0003	0,0003	0,0142
u(x _i)			0,0138										1	0,0138	0,54	0,54	0,03	0,03	0,0001	0,0001	0,0033
RESULTADO																					
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)			Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)						Fatores de Correção			
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0003		0,001		95,00			Contagem dos Pulsos		Indicativa		Fator-k		Fator-k		MF	
0,327																Double-Timing		Processado			
			Incerteza Expandida (U)		0,0007		0,002		ts= 2,1 v= 18			2,28%		9,14%		489,27		489,70		1,022768	

Experimento: Reprodutibilidade
Esferas de diferentes
diâmetros

Sentido: Horário
Trecho: S1-S4

Graus de Liberdade (ν): 18
Nível de Vazão: Intermediária

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER									TURBINA						VAZÃO (l/s)					
		0,22 [kgf/cm²]	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA			
Horário	5	TEMPERATURA INICIAL [°C] 24,59	TEMPO (seg.)																				
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]		
1	14	24,62	82,60	1,0000	1,00097	1,00097	1,00011	1,00001	0,99894	19,85	19,83	19,83	9758	82,59	9758,92	9758,87	491,62	492,09	0,240	0,236	0,222		
2	14	24,62	82,72	1,0000	1,00097	1,00097	1,00011	1,00001	0,99894	19,85	19,83	19,83	9758	82,72	9758,23	9758,20	491,59	492,06	0,240	0,236	0,212		
3	14	24,65	82,68	1,0000	1,00098	1,00098	1,00011	1,00001	0,99893	19,85	19,83	19,83	9759	82,68	9759,52	9759,54	491,65	492,13	0,240	0,236	0,236		
4	14	24,66	82,56	1,0000	1,00098	1,00098	1,00011	1,00001	0,99893	19,85	19,83	19,83	9760	82,55	9760,82	9760,49	491,72	492,18	0,240	0,236	0,215		
5	14	24,69	82,62	1,0000	1,00098	1,00098	1,00011	1,00001	0,99892	19,85	19,83	19,83	9758	82,62	9758,83	9758,54	491,61	492,08	0,240	0,236	0,249		
6	14	24,70	82,57	1,0000	1,00099	1,00099	1,00011	1,00001	0,99891	19,85	19,83	19,83	9757	82,57	9757,31	9757,05	491,54	492,00	0,240	0,236	0,229		
7	14	24,71	82,52	1,0000	1,00099	1,00099	1,00011	1,00001	0,99891	19,85	19,83	19,83	9758	82,52	9758,62	9758,11	491,60	492,06	0,241	0,236	0,208		
8	14	24,72	82,60	1,0000	1,00099	1,00099	1,00011	1,00001	0,99891	19,85	19,83	19,83	9760	82,60	9760,25	9760,19	491,68	492,16	0,240	0,236	0,242		
9	14	24,73	82,52	1,0000	1,00099	1,00099	1,00011	1,00001	0,99891	19,85	19,83	19,83	9768	82,51	9769,24	9768,74	492,13	492,59	0,241	0,237	0,223		
10	14	24,74	82,53	1,0000	1,00100	1,00100	1,00011	1,00001	0,99890	19,85	19,83	19,83	9761	82,52	9761,51	9761,10	491,74	492,21	0,241	0,236	0,224		
11	14	24,76	82,60	1,0000	1,00100	1,00100	1,00011	1,00001	0,99890	19,85	19,83	19,83	9758	82,60	9758,51	9758,34	491,59	492,07	0,240	0,236	0,212		
12	14	24,76	82,54	1,0000	1,00100	1,00100	1,00011	1,00001	0,99890	19,85	19,83	19,83	9759	82,53	9759,77	9759,35	491,65	492,12	0,241	0,236	0,223		
13	14	24,77	82,53	1,0000	1,00100	1,00100	1,00011	1,00001	0,99890	19,85	19,83	19,83	9761	82,52	9761,27	9761,04	491,73	492,20	0,241	0,236	0,236		
14	14	24,80	82,50	1,0001	1,00101	1,00101	1,00011	1,00001	0,99889	19,85	19,83	19,83	9765	82,49	9765,75	9765,47	491,95	492,43	0,241	0,237	0,232		
15	14	24,80	82,48	1,0001	1,00101	1,00101	1,00011	1,00001	0,99889	19,85	19,83	19,83	9756	82,47	9757,13	9756,87	491,52	491,99	0,241	0,236	0,218		
16	14	24,81	82,62	1,0001	1,00101	1,00101	1,00011	1,00001	0,99889	19,85	19,83	19,83	9758	82,62	9758,52	9758,04	491,58	492,05	0,240	0,236	0,212		
17	14	24,81	82,52	1,0001	1,00101	1,00101	1,00011	1,00001	0,99889	19,85	19,83	19,83	9757	82,52	9757,55	9757,26	491,54	492,01	0,241	0,236	0,234		
18	14	24,80	82,45	1,0001	1,00101	1,00101	1,00011	1,00001	0,99889	19,85	19,83	19,83	9755	82,44	9755,69	9755,23	491,44	491,91	0,241	0,236	0,227		
19	14	24,81	82,58	1,0001	1,00101	1,00101	1,00011	1,00001	0,99889	19,85	19,83	19,83	9761	82,58	9761,76	9761,47	491,75	492,23	0,240	0,236	0,227		
20	14	24,83	82,54	1,0001	1,00101	1,00101	1,00011	1,00001	0,99888	19,85	19,83	19,83	9756	82,53	9756,44	9756,05	491,48	491,95	0,241	0,236	0,224		
μ			82,56									19,85	19,83	19,83	9759	82,55	9759,86	9759,57	491,66	492,13	0,240	0,236	0,226
s(x _i)			0,0574												3	0,0581	3,23	3,21	0,16	0,16	0,0002	0,0002	0,0107
u(x _i)			0,0132												1	0,0133	0,74	0,74	0,04	0,04			
RESULTADO																							
Mensurando (l/s)			Absoluta			Relativa			y ± U (%)			Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)					Fatores de Correção				
(y)	0,240		Incerteza Combinada (uc)			0,0002			0,001			95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa			Fator-k	Fator-k	MF		
			Incerteza Expandida (U)			0,0005			0,002			0,240 ± 0,197		ts= 2,1 v= 18		1,78%		6,38%			Double-Timing	Processado	
																		491,66	492,13	1,017831			

Experimento: Reprodutibilidade
Esferas de diferentes
diâmetros

Sentido: Anti-horário
Trecho: S4-S1

Graus de Liberdade (ν): 18
Nível de Vazão: Intermediária

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER									TURBINA						VAZÃO (l/s)			
		0,22 [kgf/cm²]	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA
Anti-Horário	5	TEMPERATURA INICIAL [°C] 24,59																			
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	nº PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]
1	41	24,62	82,77	1,0000	1,00097	1,00097	1,00011	1,00001	0,99893	19,85	19,83	19,83	9759	82,77	9759,98	9759,54	491,68	492,13	0,240	0,236	0,248
2	41	24,63	83,01	1,0000	1,00097	1,00097	1,00011	1,00001	0,99893	19,85	19,83	19,83	9776	83,01	9776,82	9776,41	492,53	492,98	0,239	0,235	0,219
3	41	24,66	82,87	1,0000	1,00098	1,00098	1,00011	1,00001	0,99892	19,85	19,83	19,83	9760	82,86	9761,30	9760,90	491,74	492,20	0,240	0,235	0,190
4	41	24,68	82,70	1,0000	1,00098	1,00098	1,00011	1,00001	0,99892	19,85	19,83	19,83	9761	82,70	9761,18	9761,05	491,73	492,20	0,240	0,236	0,199
5	41	24,71	82,87	1,0000	1,00099	1,00099	1,00011	1,00001	0,99891	19,85	19,83	19,83	9759	82,86	9759,97	9759,96	491,67	492,15	0,240	0,235	0,212
6	41	24,71	82,77	1,0000	1,00099	1,00099	1,00011	1,00001	0,99891	19,85	19,83	19,83	9758	82,76	9758,84	9758,36	491,61	492,07	0,240	0,236	0,219
7	41	24,72	82,72	1,0000	1,00099	1,00099	1,00011	1,00001	0,99891	19,85	19,83	19,83	9758	82,71	9758,42	9758,05	491,59	492,05	0,240	0,236	0,225
8	41	24,74	82,74	1,0000	1,00099	1,00099	1,00011	1,00001	0,99891	19,85	19,83	19,83	9757	82,74	9757,99	9757,73	491,57	492,04	0,240	0,236	0,209
9	41	24,72	82,69	1,0000	1,00099	1,00099	1,00011	1,00001	0,99891	19,85	19,83	19,83	9759	82,69	9759,42	9759,05	491,64	492,10	0,240	0,236	0,207
10	41	24,76	82,83	1,0000	1,00100	1,00100	1,00011	1,00001	0,99890	19,85	19,83	19,83	9759	82,82	9759,39	9759,34	491,63	492,12	0,240	0,235	0,218
11	41	24,77	82,80	1,0000	1,00100	1,00100	1,00011	1,00001	0,99890	19,85	19,83	19,83	9759	82,79	9759,92	9759,73	491,66	492,14	0,240	0,236	0,239
12	41	24,78	82,67	1,0000	1,00100	1,00100	1,00011	1,00001	0,99889	19,85	19,83	19,83	9757	82,66	9757,97	9757,67	491,56	492,03	0,240	0,236	0,203
13	41	24,79	82,66	1,0001	1,00101	1,00101	1,00011	1,00001	0,99889	19,85	19,83	19,83	9758	82,65	9759,19	9758,72	491,62	492,09	0,240	0,236	0,232
14	41	24,80	82,62	1,0001	1,00101	1,00101	1,00011	1,00001	0,99889	19,85	19,83	19,83	9747	82,61	9747,61	9747,56	491,04	491,52	0,240	0,236	0,222
15	41	24,82	82,74	1,0001	1,00101	1,00101	1,00011	1,00001	0,99889	19,85	19,83	19,83	9759	82,74	9759,30	9759,27	491,62	492,11	0,240	0,236	0,229
16	41	24,82	82,70	1,0001	1,00101	1,00101	1,00011	1,00001	0,99888	19,85	19,83	19,83	9756	82,69	9756,56	9756,35	491,48	491,97	0,240	0,236	0,208
17	41	24,81	82,64	1,0001	1,00101	1,00101	1,00011	1,00001	0,99889	19,85	19,83	19,83	9757	82,63	9757,57	9757,42	491,54	492,02	0,240	0,236	0,203
18	41	24,82	82,71	1,0001	1,00101	1,00101	1,00011	1,00001	0,99889	19,85	19,83	19,83	9756	82,71	9756,34	9756,33	491,47	491,97	0,240	0,236	0,234
19	41	24,83	82,73	1,0001	1,00101	1,00101	1,00011	1,00001	0,99888	19,85	19,83	19,83	9757	82,72	9758,16	9757,97	491,56	492,05	0,240	0,236	0,208
20	41	24,84	82,75	1,0001	1,00102	1,00102	1,00011	1,00001	0,99888	19,85	19,83	19,83	9759	82,74	9759,95	9759,83	491,65	492,14	0,240	0,236	0,246
μ			82,74							19,85	19,83	19,83	9758	82,73	9758,37	9758,15	491,58	492,06	0,240	0,236	0,218
s(x _i)			0,0706										3	0,0697	2,93	2,89	0,15	0,15	0,0002	0,0002	0,0165
u(x _i)			0,0162										1	0,0160	0,67	0,66	0,03	0,03	0,0000	0,0000	0,0038
RESULTADO																					
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)			Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)					Fatores de Correção				
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0002		0,001			95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa			Fator-k		Fator-k		MF
																	Double-Timing		Processado		
			Incerteza Expandida (U)		0,0005		0,002			ts= 2,1 v= 18		1,80%		9,82%			491,58		492,06		1,017987

Experimento: Reprodutibilidade

Sentido: Horário

Graus de Liberdade (ν): 19

Esferas de diferentes

Trecho: S1-S4

Nível de Vazão: Mínima

diâmetros

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER										TURBINA						VAZÃO (l/s)		
		0,18 [kgf/cm²]	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA
Horário	5	TEMPERATURA INICIAL [°C] 24,78		C _{idw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	nº PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)	[=V _M /t]																[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]	
1	14	24,91	131,96	1,0000	1,00103	1,00103	1,00009	1,00001	0,99886	19,85	19,83	19,83	9772	131,95	9772,89	9772,89	492,32	492,82	0,150	0,148	0,138
2	14	24,98	132,48	1,0001	1,00105	1,00105	1,00009	1,00001	0,99884	19,85	19,83	19,83	9789	132,47	9789,80	9789,62	493,17	493,67	0,150	0,148	0,151
3	14	25,02	132,15	1,0001	1,00105	1,00105	1,00009	1,00001	0,99883	19,85	19,83	19,83	9776	132,13	9776,99	9776,72	492,52	493,02	0,150	0,148	0,146
4	14	25,04	132,20	1,0001	1,00106	1,00106	1,00009	1,00001	0,99883	19,85	19,83	19,83	9779	132,19	9779,74	9779,25	492,65	493,14	0,150	0,148	0,106
5	14	25,08	132,05	1,0001	1,00107	1,00107	1,00009	1,00001	0,99882	19,85	19,83	19,83	9776	132,04	9776,68	9776,43	492,49	493,00	0,150	0,148	0,136
6	14	25,13	132,48	1,0001	1,00108	1,00108	1,00009	1,00001	0,99881	19,85	19,83	19,83	9794	132,47	9794,99	9794,82	493,41	493,93	0,150	0,148	0,151
7	14	25,15	132,24	1,0001	1,00108	1,00108	1,00009	1,00001	0,99880	19,85	19,83	19,83	9776	132,23	9776,44	9776,04	492,47	492,98	0,150	0,148	0,146
8	14	25,16	131,93	1,0001	1,00108	1,00108	1,00009	1,00001	0,99880	19,85	19,83	19,83	9781	131,91	9782,30	9781,85	492,77	493,28	0,150	0,148	0,128
9	14	25,18	132,38	1,0001	1,00109	1,00109	1,00009	1,00001	0,99879	19,85	19,83	19,83	9789	132,36	9790,43	9790,01	493,18	493,69	0,150	0,148	0,127
10	14	25,19	132,11	1,0001	1,00109	1,00109	1,00009	1,00001	0,99879	19,85	19,83	19,83	9784	132,10	9784,67	9784,38	492,88	493,40	0,150	0,148	0,170
11	14	25,23	131,96	1,0001	1,00110	1,00110	1,00009	1,00001	0,99878	19,85	19,83	19,83	9783	131,94	9784,38	9783,94	492,87	493,38	0,150	0,148	0,151
12	14	25,27	132,20	1,0001	1,00111	1,00111	1,00009	1,00001	0,99877	19,85	19,83	19,83	9781	132,19	9781,89	9781,59	492,74	493,26	0,150	0,148	0,166
13	14	25,30	131,95	1,0001	1,00111	1,00111	1,00009	1,00001	0,99876	19,85	19,83	19,83	9782	131,94	9782,63	9782,44	492,77	493,31	0,150	0,148	0,151
14	14	25,33	132,06	1,0001	1,00112	1,00112	1,00009	1,00001	0,99875	19,85	19,83	19,83	9784	132,06	9784,65	9784,37	492,87	493,40	0,150	0,148	0,135
15	14	25,34	131,93	1,0001	1,00112	1,00112	1,00009	1,00001	0,99875	19,85	19,83	19,83	9778	131,92	9778,80	9778,43	492,57	493,10	0,150	0,148	0,131
16	14	25,36	132,09	1,0001	1,00113	1,00113	1,00009	1,00001	0,99875	19,85	19,83	19,83	9784	132,08	9784,54	9784,30	492,86	493,40	0,150	0,148	0,134
17	14	25,38	132,23	1,0002	1,00113	1,00113	1,00009	1,00001	0,99874	19,85	19,83	19,83	9769	132,22	9769,59	9769,19	492,11	492,64	0,150	0,148	0,161
18	14	25,40	131,98	1,0002	1,00113	1,00113	1,00009	1,00001	0,99873	19,85	19,83	19,83	9781	131,97	9781,58	9781,31	492,71	493,25	0,150	0,148	0,126
19	14	25,43	132,07	1,0002	1,00114	1,00114	1,00009	1,00001	0,99873	19,85	19,83	19,83	9779	132,06	9779,75	9779,62	492,61	493,16	0,150	0,148	0,143
20	14	25,43	132,11	1,0002	1,00114	1,00114	1,00009	1,00001	0,99873	19,85	19,83	19,83	9780	132,10	9780,48	9780,11	492,65	493,19	0,150	0,148	0,151
μ			132,13							19,85	19,83	19,83	9781	132,12	9781,66	9781,37	492,73	493,25	0,150	0,148	0,142
s(x _i)			0,1706										6	0,1704	5,93	5,94	0,30	0,30	0,0002	0,0002	0,0151
u(x _i)			0,0382										1	0,0381	1,33	1,33	0,07	0,07			
RESULTADO																					
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)						Fatores de Correção				
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0001		0,001		95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa				Fator-k	Fator-k	MF		
																	Double-Timing	Processado			
			Incerteza Expandida (U)		0,0003		0,002		ts= 2,09 v= 19		1,56%		5,45%				492,73	493,25	1,015564		

Experimento: Reprodutibilidade

Sentido: Anti-horário

Graus de Liberdade (ν): 19

Esferas de diferentes

Trecho: S4-S1

Nível de Vazão: Mínima

diâmetros

SENTIDO		ESFERA	PRESSÃO 0,18 [kgf/cm²]	PIPE PROVER									TURBINA						VAZÃO (l/s)			
Anti-Horário		5	TEMPERATURA INICIAL [°C] 24,78	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO					VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA	
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)	C _{ldw}		C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	nº PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]	
1	41	24,97	132,08	1,0000	1,00104	1,00104	1,00009	1,00001	0,99885	19,85	19,83	19,83	9773	132,07	9773,99	9773,55	492,37	492,86	0,150	0,148	0,154	
2	41	25,01	132,14	1,0001	1,00105	1,00105	1,00009	1,00001	0,99884	19,85	19,83	19,83	9774	132,13	9774,65	9774,24	492,40	492,89	0,150	0,148	0,141	
3	41	25,03	132,27	1,0001	1,00106	1,00106	1,00009	1,00001	0,99883	19,85	19,83	19,83	9776	132,26	9776,97	9776,48	492,51	493,01	0,150	0,148	0,158	
4	41	25,05	132,27	1,0001	1,00106	1,00106	1,00009	1,00001	0,99882	19,85	19,83	19,83	9774	132,27	9774,33	9774,27	492,38	492,89	0,150	0,148	0,120	
5	41	25,11	132,16	1,0001	1,00107	1,00107	1,00009	1,00001	0,99881	19,85	19,83	19,83	9788	132,15	9788,65	9788,58	493,09	493,62	0,150	0,148	0,151	
6	41	25,15	132,33	1,0001	1,00108	1,00108	1,00009	1,00001	0,99880	19,85	19,83	19,83	9776	132,32	9776,79	9776,66	492,49	493,01	0,150	0,148	0,154	
7	41	25,15	132,28	1,0001	1,00108	1,00108	1,00009	1,00001	0,99880	19,85	19,83	19,83	9786	132,27	9786,70	9786,41	492,99	493,51	0,150	0,148	0,156	
8	41	25,18	132,59	1,0001	1,00109	1,00109	1,00009	1,00001	0,99879	19,85	19,83	19,83	9807	132,58	9807,40	9807,40	494,03	494,56	0,150	0,148	0,131	
9	41	25,20	132,30	1,0001	1,00109	1,00109	1,00009	1,00001	0,99879	19,85	19,83	19,83	9791	132,29	9791,50	9791,18	493,23	493,75	0,150	0,148	0,151	
10	41	25,20	132,23	1,0001	1,00109	1,00109	1,00009	1,00001	0,99879	19,85	19,83	19,83	9790	132,22	9791,17	9790,96	493,21	493,74	0,150	0,148	0,138	
11	41	25,26	132,22	1,0001	1,00110	1,00110	1,00009	1,00001	0,99877	19,85	19,83	19,83	9788	132,21	9788,82	9788,58	493,09	493,62	0,150	0,148	0,123	
12	41	25,29	132,15	1,0001	1,00111	1,00111	1,00009	1,00001	0,99876	19,85	19,83	19,83	9785	132,14	9785,89	9785,46	492,94	493,46	0,150	0,148	0,130	
13	41	25,32	132,23	1,0001	1,00112	1,00112	1,00009	1,00001	0,99876	19,85	19,83	19,83	9789	132,22	9789,69	9789,54	493,12	493,66	0,150	0,148	0,139	
14	41	25,34	132,29	1,0001	1,00112	1,00112	1,00009	1,00001	0,99875	19,85	19,83	19,83	9782	132,28	9782,75	9782,31	492,77	493,30	0,150	0,148	0,139	
15	41	25,36	132,11	1,0001	1,00112	1,00112	1,00009	1,00001	0,99875	19,85	19,83	19,83	9779	132,10	9779,86	9779,70	492,63	493,17	0,150	0,148	0,144	
16	41	25,37	132,25	1,0002	1,00113	1,00113	1,00009	1,00001	0,99874	19,85	19,83	19,83	9769	132,25	9769,30	9769,22	492,09	492,64	0,150	0,148	0,146	
17	41	25,40	132,48	1,0002	1,00113	1,00113	1,00009	1,00001	0,99874	19,85	19,83	19,83	9785	132,47	9785,51	9785,13	492,91	493,44	0,150	0,148	0,110	
18	41	25,43	132,60	1,0002	1,00114	1,00114	1,00009	1,00001	0,99873	19,85	19,83	19,83	9780	132,59	9780,54	9780,38	492,65	493,20	0,150	0,147	0,125	
19	41	25,44	132,45	1,0002	1,00114	1,00114	1,00009	1,00001	0,99872	19,85	19,83	19,83	9781	132,44	9781,41	9781,04	492,70	493,24	0,150	0,148	0,110	
20	41	25,43	132,36	1,0002	1,00114	1,00114	1,00009	1,00001	0,99873	19,85	19,83	19,83	9791	132,35	9791,57	9791,38	493,21	493,76	0,150	0,148	0,130	
μ				132,29						19,85	19,83	19,83	9783	132,28	9783,87	9783,62	492,84	493,37	0,150	0,148	0,138	
s(x _i)				0,1446									9	0,1463	8,70	8,74	0,44	0,44	0,0002	0,0002	0,0146	
u(x _i)				0,0323									2	0,0327	1,95	1,95	0,10	0,10	0,0000	0,0000	0,0033	
RESULTADO																						
Mensurando (l/s)				Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)						Fatores de Correção				
(y)				Incerteza Combinada (uc)		0,0001		0,001		95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa				Fator-k		Fator-k		MF
																		Double-Timing		Processado		
				Incerteza Expandida (U)		0,0003		0,002		ts= 2,09 v= 19		1,53%		9,01%				492,84		493,37		

Experimento: Esferas de diferentes
diâmetros

Sentido: Horário
Trecho: S1-S4

Graus de Liberdade (ν): 18
Nível de Vazão: Máxima

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER									TURBINA						VAZÃO (l/s)			
		0,39 [kgf/cm²] TEMPERATURA INICIAL [°C] 24,89	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO					VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA	
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]
1	14	24,89	61,02	1,0000	1,00103	1,00103	1,00020	1,00002	0,99887	19,85	19,83	19,83	9817	61,02	9817,57	9817,04	494,59	495,07	0,325	0,322	0,301
2	14	24,91	60,80	1,0000	1,00103	1,00103	1,00020	1,00002	0,99886	19,85	19,83	19,83	9798	60,80	9798,41	9798,05	493,63	494,11	0,327	0,322	0,292
3	14	24,93	60,73	1,0000	1,00104	1,00104	1,00020	1,00002	0,99886	19,85	19,83	19,83	9782	60,73	9782,65	9782,49	492,83	493,32	0,327	0,322	0,310
4	14	24,95	60,64	1,0000	1,00104	1,00104	1,00020	1,00002	0,99885	19,85	19,83	19,83	9779	60,64	9779,55	9779,04	492,67	493,15	0,327	0,322	0,315
5	14	24,96	60,67	1,0000	1,00104	1,00104	1,00020	1,00002	0,99885	19,85	19,83	19,83	9781	60,67	9781,83	9781,65	492,78	493,28	0,327	0,322	0,281
6	14	24,97	60,62	1,0000	1,00104	1,00104	1,00020	1,00002	0,99884	19,85	19,83	19,83	9772	60,62	9772,55	9772,55	492,32	492,82	0,327	0,322	0,302
7	14	25,00	60,67	1,0000	1,00105	1,00105	1,00020	1,00002	0,99884	19,85	19,83	19,83	9776	60,66	9777,17	9776,86	492,55	493,04	0,327	0,322	0,288
8	14	25,02	60,75	1,0000	1,00105	1,00105	1,00020	1,00002	0,99883	19,85	19,83	19,83	9781	60,74	9781,93	9781,61	492,78	493,28	0,327	0,322	0,292
9	14	25,03	60,77	1,0000	1,00106	1,00106	1,00020	1,00002	0,99883	19,85	19,83	19,83	9783	60,76	9783,22	9783,05	492,85	493,35	0,327	0,322	0,315
10	14	25,04	60,69	1,0000	1,00106	1,00106	1,00020	1,00002	0,99883	19,85	19,83	19,83	9781	60,69	9781,32	9781,23	492,75	493,26	0,327	0,322	0,288
11	14	25,06	60,75	1,0000	1,00106	1,00106	1,00020	1,00002	0,99882	19,85	19,83	19,83	9786	60,74	9786,43	9786,05	493,01	493,50	0,327	0,322	0,340
12	14	25,08	60,59	1,0000	1,00107	1,00107	1,00020	1,00002	0,99882	19,85	19,83	19,83	9768	60,59	9768,27	9768,06	492,09	492,60	0,328	0,322	0,342
13	14	25,09	60,58	1,0000	1,00107	1,00107	1,00020	1,00002	0,99882	19,85	19,83	19,83	9766	60,57	9766,84	9766,43	492,02	492,51	0,328	0,322	0,313
14	14	25,10	60,59	1,0001	1,00107	1,00107	1,00020	1,00002	0,99881	19,85	19,83	19,83	9773	60,59	9773,35	9773,13	492,34	492,85	0,328	0,322	0,300
15	14	25,12	60,73	1,0001	1,00108	1,00108	1,00020	1,00002	0,99881	19,85	19,83	19,83	9787	60,72	9788,12	9787,82	493,09	493,59	0,327	0,322	0,311
16	14	25,13	60,60	1,0001	1,00108	1,00108	1,00020	1,00002	0,99880	19,85	19,83	19,83	9761	60,59	9762,36	9761,93	491,79	492,29	0,328	0,322	0,324
17	14	25,14	60,65	1,0001	1,00108	1,00108	1,00020	1,00002	0,99880	19,85	19,83	19,83	9771	60,65	9771,71	9771,26	492,26	492,76	0,327	0,322	0,303
18	14	25,16	60,65	1,0001	1,00108	1,00108	1,00020	1,00002	0,99880	19,85	19,83	19,83	9771	60,64	9772,07	9771,95	492,27	492,79	0,327	0,322	0,307
19	14	25,17	60,79	1,0001	1,00108	1,00108	1,00020	1,00002	0,99880	19,85	19,83	19,83	9794	60,78	9794,63	9794,25	493,41	493,92	0,327	0,322	0,327
20	14	25,18	60,58	1,0001	1,00109	1,00109	1,00020	1,00002	0,99879	19,85	19,83	19,83	9766	60,58	9767,21	9766,95	492,03	492,54	0,328	0,322	0,313
μ			60,68							19,85	19,83	19,83	9778	60,67	9778,40	9778,12	492,60	493,10	0,327	0,322	0,308
s(xi)			0,0733										10	0,0739	9,61	9,60	0,49	0,48	0,0004	0,0002	0,0170
u(xi)			0,0168										2	0,0170	2,21	2,20	0,11	0,11			
RESULTADO																					
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)			Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)				Fatores de Correção					
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0003		0,001		0,327 ± 0,212			95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa		Fator-k	Fator-k	MF	
												ts=2,1 v=18		1,59%		6,11%		Double-Timing	Processado		
			Incerteza Expandida (U)		0,0007		0,002											492,60	493,10	1,015903	

Experimento: Esferas de diferentes

Sentido: Anti-horário

Graus de Liberdade (ν): 18

diâmetros

Trecho: S4-S1

Nível de Vazão:

Máxima

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER									TURBINA						VAZÃO (l/s)						
		0,39 [kgf/cm²]	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA			
Anti-Horário	6	TEMPERATURA INICIAL [°C] 24,89		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	nº PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]			
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)																						
1	41	24,89	60,86	1,0000	1,00103	1,00103	1,00020	1,00002	0,99887	19,85	19,83	19,83	9771	60,86	9771,41	9771,05	492,27	492,75	0,326	0,321	0,299			
2	41	24,92	60,91	1,0000	1,00103	1,00103	1,00020	1,00002	0,99886	19,85	19,83	19,83	9774	60,91	9774,28	9774,19	492,41	492,90	0,326	0,321	0,318			
3	41	24,94	60,89	1,0000	1,00104	1,00104	1,00020	1,00002	0,99885	19,85	19,83	19,83	9770	60,89	9770,88	9770,70	492,24	492,73	0,326	0,321	0,309			
4	41	24,96	60,96	1,0000	1,00104	1,00104	1,00020	1,00002	0,99885	19,85	19,83	19,83	9765	60,95	9765,84	9765,60	491,98	492,47	0,326	0,320	0,303			
5	41	24,97	60,88	1,0000	1,00104	1,00104	1,00020	1,00002	0,99885	19,85	19,83	19,83	9768	60,88	9768,85	9768,67	492,13	492,63	0,326	0,321	0,295			
6	41	24,99	60,84	1,0000	1,00105	1,00105	1,00020	1,00002	0,99884	19,85	19,83	19,83	9766	60,83	9766,46	9766,05	492,01	492,49	0,326	0,321	0,321			
7	41	25,01	60,88	1,0000	1,00105	1,00105	1,00020	1,00002	0,99884	19,85	19,83	19,83	9772	60,88	9772,40	9772,19	492,31	492,80	0,326	0,321	0,298			
8	41	25,02	60,83	1,0000	1,00105	1,00105	1,00020	1,00002	0,99883	19,85	19,83	19,83	9772	60,82	9772,70	9772,54	492,32	492,82	0,326	0,321	0,307			
9	41	25,04	60,91	1,0000	1,00106	1,00106	1,00020	1,00002	0,99883	19,85	19,83	19,83	9775	60,90	9775,23	9775,06	492,44	492,95	0,326	0,321	0,315			
10	41	25,05	60,87	1,0000	1,00106	1,00106	1,00020	1,00002	0,99883	19,85	19,83	19,83	9771	60,87	9771,27	9771,05	492,24	492,75	0,326	0,321	0,311			
11	41	25,07	60,86	1,0000	1,00106	1,00106	1,00020	1,00002	0,99882	19,85	19,83	19,83	9772	60,86	9772,54	9772,25	492,31	492,81	0,326	0,321	0,319			
12	41	25,08	60,92	1,0000	1,00107	1,00107	1,00020	1,00002	0,99882	19,85	19,83	19,83	9775	60,92	9776,10	9775,93	492,48	492,99	0,326	0,321	0,301			
13	41	25,10	60,89	1,0001	1,00107	1,00107	1,00020	1,00002	0,99881	19,85	19,83	19,83	9769	60,88	9769,92	9769,79	492,17	492,68	0,326	0,321	0,293			
14	41	25,11	60,86	1,0001	1,00107	1,00107	1,00020	1,00002	0,99881	19,85	19,83	19,83	9773	60,86	9773,57	9773,13	492,35	492,85	0,326	0,321	0,286			
15	41	25,13	60,83	1,0001	1,00108	1,00108	1,00020	1,00002	0,99880	19,85	19,83	19,83	9766	60,83	9766,46	9766,05	491,99	492,49	0,326	0,321	0,289			
16	41	25,14	60,93	1,0001	1,00108	1,00108	1,00020	1,00002	0,99880	19,85	19,83	19,83	9778	60,93	9778,35	9778,05	492,59	493,10	0,326	0,321	0,296			
17	41	25,16	60,89	1,0001	1,00108	1,00108	1,00020	1,00002	0,99880	19,85	19,83	19,83	9768	60,88	9769,04	9768,72	492,12	492,63	0,326	0,321	0,306			
18	41	25,17	60,89	1,0001	1,00108	1,00108	1,00020	1,00002	0,99880	19,85	19,83	19,83	9769	60,88	9769,90	9769,73	492,16	492,68	0,326	0,321	0,309			
19	41	25,17	60,87	1,0001	1,00109	1,00109	1,00020	1,00002	0,99879	19,85	19,83	19,83	9768	60,87	9768,93	9768,87	492,11	492,64	0,326	0,321	0,300			
20	41	25,19	60,88	1,0001	1,00109	1,00109	1,00020	1,00002	0,99879	19,85	19,83	19,83	9769	60,87	9769,72	9769,66	492,15	492,68	0,326	0,321	0,281			
μ			60,88										19,85	19,83	19,83	9771	60,87	9771,47	9771,25	492,25	492,76	0,326	0,321	0,303
s(xi)			0,0291													3	0,0289	3,13	3,15	0,16	0,16	0,0002	0,0001	0,0114
u(xi)			0,0067													1	0,0066	0,72	0,72	0,04	0,04	0,0000	0,0000	0,0026
RESULTADO																								
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)				Fatores de Correção									
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0003		0,001		95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa		Fator-k		Fator-k		MF					
															Double-Timing		Processado							
			Incerteza Expandida (U)		0,0007		0,002		ts= 2,1 v= 18				1,66%		7,79%		492,25		492,76		1,016622			

Experimento: Esferas de diferentes
diâmetros

Sentido: Horário
Trecho: S1-S4

Graus de Liberdade (ν): 17
Nível de Vazão: Intermediária

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER										TURBINA							VAZÃO (l/s)		
		0,24 [kgf/cm²]	TEMPO	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA	
		TEMPERATURA INICIAL [°C]		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO				[=V _M /t]
Horário	6	24,22	TEMPO (seg.)																			
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]	
1	14	24,27	82,85	1,0000	1,00090	1,00090	1,00012	1,00001	0,99902	19,85	19,83	19,83	9791	82,84	9792,03	9791,84	493,28	493,71	0,240	0,236	0,223	
2	14	24,33	82,87	1,0000	1,00091	1,00091	1,00012	1,00001	0,99901	19,85	19,83	19,83	9782	82,87	9783,17	9782,83	492,83	493,26	0,240	0,236	0,203	
3	14	24,40	83,08	1,0000	1,00092	1,00092	1,00012	1,00001	0,99899	19,85	19,83	19,83	9791	83,08	9791,59	9791,29	493,25	493,68	0,239	0,236	0,217	
4	14	24,45	83,20	1,0001	1,00093	1,00093	1,00012	1,00001	0,99898	19,85	19,83	19,83	9797	83,19	9798,08	9797,66	493,57	494,00	0,239	0,235	0,203	
5	14	24,50	83,24	1,0001	1,00095	1,00095	1,00012	1,00001	0,99896	19,85	19,83	19,83	9786	83,23	9786,90	9786,77	493,00	493,46	0,238	0,235	0,219	
6	14	24,53	83,30	1,0001	1,00095	1,00095	1,00012	1,00001	0,99896	19,85	19,83	19,83	9792	83,29	9792,28	9792,05	493,27	493,72	0,238	0,235	0,205	
7	14	24,56	83,31	1,0001	1,00096	1,00096	1,00012	1,00001	0,99895	19,85	19,83	19,83	9798	83,30	9798,79	9798,68	493,59	494,06	0,238	0,235	0,193	
8	14	24,60	83,31	1,0001	1,00097	1,00097	1,00012	1,00001	0,99894	19,85	19,83	19,83	9792	83,30	9792,79	9792,65	493,29	493,75	0,238	0,235	0,220	
9	14	24,64	83,51	1,0001	1,00097	1,00097	1,00012	1,00001	0,99893	19,85	19,83	19,83	9813	83,50	9813,48	9813,25	494,32	494,79	0,238	0,235	0,223	
10	14	24,65	83,48	1,0001	1,00098	1,00098	1,00012	1,00001	0,99893	19,85	19,83	19,83	9812	83,47	9813,23	9812,95	494,31	494,78	0,238	0,235	0,216	
11	14	24,67	83,48	1,0001	1,00098	1,00098	1,00012	1,00001	0,99892	19,85	19,83	19,83	9812	83,47	9812,79	9812,68	494,29	494,76	0,238	0,235	0,208	
12	14	24,71	83,48	1,0001	1,00099	1,00099	1,00012	1,00001	0,99891	19,85	19,83	19,83	9806	83,48	9806,59	9806,31	493,97	494,44	0,238	0,235	0,229	
13	14	24,72	83,55	1,0001	1,00099	1,00099	1,00012	1,00001	0,99891	19,85	19,83	19,83	9817	83,54	9817,26	9817,09	494,51	494,98	0,238	0,235	0,215	
14	14	24,74	83,48	1,0001	1,00100	1,00100	1,00012	1,00001	0,99890	19,85	19,83	19,83	9813	83,47	9813,54	9813,11	494,32	494,78	0,238	0,235	0,216	
15	14	24,76	83,35	1,0001	1,00100	1,00100	1,00012	1,00001	0,99890	19,85	19,83	19,83	9809	83,35	9809,81	9809,71	494,13	494,61	0,238	0,235	0,217	
16	14	24,77	83,34	1,0001	1,00100	1,00100	1,00012	1,00001	0,99890	19,85	19,83	19,83	9811	83,33	9811,86	9811,54	494,23	494,70	0,238	0,235	0,226	
17	14	24,80	83,38	1,0001	1,00101	1,00101	1,00012	1,00001	0,99889	19,85	19,83	19,83	9813	83,38	9813,54	9813,11	494,31	494,78	0,238	0,235	0,224	
18	14	24,85	83,49	1,0002	1,00102	1,00102	1,00012	1,00001	0,99888	19,85	19,83	19,83	9816	83,49	9816,68	9816,59	494,46	494,96	0,238	0,235	0,214	
19	14	24,85	83,43	1,0002	1,00102	1,00102	1,00012	1,00001	0,99888	19,85	19,83	19,83	9816	83,42	9816,89	9816,60	494,48	494,96	0,238	0,235	0,226	
20	14	24,83	83,59	1,0002	1,00101	1,00101	1,00012	1,00001	0,99888	19,85	19,83	19,83	9820	83,58	9821,02	9820,76	494,68	495,17	0,238	0,235	0,229	
μ			83,39							19,85	19,83	19,83	9806	83,38	9807,06	9806,82	494,00	494,47	0,238	0,235	0,217	
s(xi)			0,1334										11	0,1336	10,66	10,65	0,52	0,54	0,0004	0,0002	0,0097	
u(xi)			0,0314										3	0,0315	2,51	2,51	0,12	0,13				

RESULTADO													
Mensurando (l/s)			Absoluta	Relativa	y ± U (%)		Nível de Confiança	Erro sistemático da turbina (%)		Fatores de Correção			
(y)	0,238	Incerteza Combinada (uc)	0,0002	0,001	0,238	±	0,211	95,00	Contagem dos Pulsos	Indicativa	Fator-k	Fator-k	MF
										Double-Timing	Processado		
		Incerteza Expandida (U)	0,0005	0,002				ts= 2,11	1,29%	9,86%	494,00	494,47	1,012934
							v= 17						

Experimento: Esferas de diferentes diâmetros

Sentido: Anti-horário

Graus de Liberdade (ν): 19

Trecho: S4-S1

Nível de Vazão: Intermediária

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER									TURBINA						VAZÃO (l/s)							
		0,24 [kgf/cm²]	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO					VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA					
Anti-Horário	6	TEMPERATURA INICIAL [°C] 24,22		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	nº PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]				
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)																							
1	41	24,29	83,25	1,0000	1,00090	1,00090	1,00012	1,00001	0,99902	19,85	19,83	19,83	9803	83,24	9804,25	9803,71	493,90	494,31	0,238	0,235	0,214				
2	41	24,36	83,25	1,0000	1,00091	1,00091	1,00012	1,00001	0,99900	19,85	19,83	19,83	9792	83,24	9792,92	9792,58	493,32	493,75	0,238	0,235	0,232				
3	41	24,42	83,41	1,0000	1,00093	1,00093	1,00012	1,00001	0,99899	19,85	19,83	19,83	9792	83,40	9793,20	9792,81	493,33	493,76	0,238	0,235	0,234				
4	41	24,47	83,43	1,0001	1,00094	1,00094	1,00012	1,00001	0,99897	19,85	19,83	19,83	9805	83,43	9805,97	9805,96	493,96	494,42	0,238	0,235	0,204				
5	41	24,52	83,51	1,0001	1,00095	1,00095	1,00012	1,00001	0,99896	19,85	19,83	19,83	9806	83,50	9806,45	9806,38	493,98	494,44	0,238	0,235	0,208				
6	41	24,53	83,49	1,0001	1,00095	1,00095	1,00012	1,00001	0,99896	19,85	19,83	19,83	9801	83,48	9801,34	9801,09	493,72	494,18	0,238	0,235	0,196				
7	41	24,56	83,70	1,0001	1,00096	1,00096	1,00012	1,00001	0,99895	19,85	19,83	19,83	9816	83,69	9816,38	9816,36	494,48	494,95	0,237	0,234	0,220				
8	41	24,61	83,69	1,0001	1,00097	1,00097	1,00012	1,00001	0,99894	19,85	19,83	19,83	9820	83,68	9821,03	9820,65	494,71	495,16	0,237	0,235	0,210				
9	41	24,63	83,71	1,0001	1,00097	1,00097	1,00012	1,00001	0,99893	19,85	19,83	19,83	9813	83,71	9813,51	9813,04	494,33	494,78	0,237	0,234	0,220				
10	41	24,63	83,75	1,0001	1,00097	1,00097	1,00012	1,00001	0,99893	19,85	19,83	19,83	9815	83,75	9815,84	9815,54	494,44	494,91	0,237	0,234	0,229				
11	41	24,70	83,75	1,0001	1,00099	1,00099	1,00012	1,00001	0,99892	19,85	19,83	19,83	9816	83,75	9816,93	9816,66	494,49	494,96	0,237	0,234	0,219				
12	41	24,71	83,61	1,0001	1,00099	1,00099	1,00012	1,00001	0,99891	19,85	19,83	19,83	9806	83,60	9806,83	9806,76	493,98	494,46	0,237	0,234	0,209				
13	41	24,72	83,63	1,0001	1,00099	1,00099	1,00012	1,00001	0,99891	19,85	19,83	19,83	9815	83,62	9816,14	9815,96	494,45	494,93	0,237	0,235	0,223				
14	41	24,74	83,62	1,0001	1,00099	1,00099	1,00012	1,00001	0,99891	19,85	19,83	19,83	9811	83,61	9811,93	9811,43	494,24	494,70	0,237	0,234	0,215				
15	41	24,75	83,60	1,0001	1,00100	1,00100	1,00012	1,00001	0,99890	19,85	19,83	19,83	9816	83,59	9816,56	9816,47	494,47	494,95	0,237	0,235	0,223				
16	41	24,78	83,48	1,0001	1,00100	1,00100	1,00012	1,00001	0,99889	19,85	19,83	19,83	9809	83,47	9809,97	9809,67	494,13	494,61	0,238	0,235	0,222				
17	41	24,82	83,76	1,0002	1,00101	1,00101	1,00012	1,00001	0,99889	19,85	19,83	19,83	9827	83,75	9828,15	9827,79	495,05	495,52	0,237	0,235	0,236				
18	41	24,83	83,53	1,0002	1,00102	1,00102	1,00012	1,00001	0,99888	19,85	19,83	19,83	9811	83,53	9811,41	9811,23	494,20	494,69	0,238	0,235	0,210				
19	41	24,85	83,63	1,0002	1,00102	1,00102	1,00012	1,00001	0,99888	19,85	19,83	19,83	9815	83,62	9815,85	9815,60	494,42	494,91	0,237	0,235	0,232				
20	41	24,84	83,57	1,0002	1,00102	1,00102	1,00012	1,00001	0,99888	19,85	19,83	19,83	9816	83,56	9816,95	9816,73	494,48	494,97	0,238	0,235	0,196				
μ			83,57									19,85	19,83	19,83	9810	83,56	9811,08	9810,82	494,20	494,67	0,238	0,235	0,218		
s(xi)			0,1517										9	0,1521	8,75	8,76	0,43	0,44	0,0004	0,0003	0,0119				
u(xi)			0,0339										2	0,0340	1,96	1,96	0,10	0,10	0,0001	0,0001	0,0027				
RESULTADO																									
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)						Fatores de Correção								
(y)			0,238		0,0002		0,001		0,238 ± 0,212		95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa				Fator-k		Fator-k		MF		
			Incerteza Combinada (uc)		0,0002		0,001												Double-Timing		Processado				
			Incerteza Expandida (U)		0,0005		0,002						ts= 2,09		1,25%		9,16%				494,20		494,67		1,012519
													v= 19												

Experimento: Esferas de diferentes
diâmetros

Sentido: Horário
Trecho: S1-S4

Graus de Liberdade (ν): 17
Nível de Vazão: Mínima

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER										TURBINA						VAZÃO (l/s)		
		0,18 [kgf/cm²]	TEMPO	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA
Horário	6	TEMPERATURA INICIAL [°C] 23,42		(seg.)	C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pi P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)																			
1	14	23,49	132,05	1,0000	1,00073	1,00073	1,00009	1,00001	0,99921	19,85	19,84	19,84	9784	132,04	9784,94	9784,93	492,91	493,27	0,150	0,148	0,127
2	14	23,56	132,39	1,0000	1,00075	1,00075	1,00009	1,00001	0,99920	19,85	19,84	19,84	9785	132,38	9785,81	9785,43	492,94	493,29	0,150	0,148	0,158
3	14	23,61	132,23	1,0000	1,00076	1,00076	1,00009	1,00001	0,99919	19,85	19,84	19,84	9784	132,22	9785,06	9784,97	492,90	493,27	0,150	0,148	0,103
4	14	23,62	132,45	1,0000	1,00076	1,00076	1,00009	1,00001	0,99918	19,85	19,84	19,84	9792	132,44	9792,81	9792,54	493,29	493,65	0,150	0,148	0,143
5	14	23,67	132,38	1,0001	1,00077	1,00077	1,00009	1,00001	0,99917	19,85	19,84	19,84	9794	132,36	9795,18	9794,74	493,41	493,76	0,150	0,148	0,151
6	14	23,73	132,28	1,0001	1,00078	1,00078	1,00009	1,00001	0,99916	19,85	19,84	19,84	9781	132,28	9781,29	9781,03	492,70	493,07	0,150	0,148	0,146
7	14	23,77	132,31	1,0001	1,00079	1,00079	1,00009	1,00001	0,99915	19,85	19,84	19,84	9789	132,31	9789,48	9789,07	493,11	493,47	0,150	0,148	0,154
8	14	23,84	132,49	1,0001	1,00081	1,00081	1,00009	1,00001	0,99913	19,85	19,84	19,84	9792	132,47	9793,26	9792,87	493,29	493,67	0,150	0,148	0,108
9	14	23,89	132,31	1,0001	1,00082	1,00082	1,00009	1,00001	0,99912	19,85	19,83	19,84	9789	132,30	9789,94	9789,77	493,12	493,51	0,150	0,148	0,139
10	14	23,88	132,38	1,0001	1,00082	1,00082	1,00009	1,00001	0,99912	19,85	19,83	19,84	9792	132,38	9792,23	9792,05	493,23	493,62	0,150	0,148	0,156
11	14	23,94	132,28	1,0001	1,00083	1,00083	1,00009	1,00001	0,99910	19,85	19,83	19,84	9788	132,28	9788,23	9788,24	493,03	493,43	0,150	0,148	0,127
12	14	24,01	132,53	1,0001	1,00084	1,00084	1,00009	1,00001	0,99909	19,85	19,83	19,84	9789	132,52	9789,47	9789,19	493,08	493,48	0,150	0,148	0,140
13	14	24,04	132,79	1,0002	1,00085	1,00085	1,00009	1,00001	0,99908	19,85	19,83	19,84	9825	132,77	9825,95	9825,81	494,92	495,33	0,150	0,148	0,146
14	14	24,05	132,66	1,0002	1,00085	1,00085	1,00009	1,00001	0,99908	19,85	19,83	19,84	9818	132,65	9818,75	9818,43	494,55	494,95	0,150	0,148	0,146
15	14	24,09	132,17	1,0002	1,00086	1,00086	1,00009	1,00001	0,99907	19,85	19,83	19,84	9787	132,16	9787,60	9787,54	492,98	493,40	0,150	0,148	0,127
16	14	24,10	132,25	1,0002	1,00086	1,00086	1,00009	1,00001	0,99907	19,85	19,83	19,84	9791	132,25	9791,50	9791,28	493,18	493,59	0,150	0,148	0,153
17	14	24,15	132,66	1,0002	1,00087	1,00087	1,00009	1,00001	0,99905	19,85	19,83	19,84	9808	132,64	9809,13	9808,74	494,06	494,47	0,150	0,148	0,138
18	14	24,23	132,45	1,0002	1,00089	1,00089	1,00009	1,00001	0,99903	19,85	19,83	19,84	9786	132,43	9787,26	9786,85	492,95	493,36	0,150	0,148	0,148
19	14	24,25	132,85	1,0002	1,00089	1,00089	1,00009	1,00001	0,99903	19,85	19,83	19,84	9810	132,85	9810,45	9810,22	494,12	494,54	0,149	0,148	0,123
20	14	24,29	132,82	1,0002	1,00090	1,00090	1,00009	1,00001	0,99902	19,85	19,83	19,84	9809	132,81	9810,01	9809,78	494,09	494,52	0,149	0,148	0,128
μ			132,44							19,85	19,83	19,84	9795	132,43	9795,42	9795,17	493,39	493,78	0,150	0,148	0,138
s(xi)			0,2220										12	0,2213	12,42	12,40	0,61	0,63	0,0003	0,0001	0,0153
u(xi)			0,0496										3	0,0495	2,78	2,77	0,14	0,14			

RESULTADO																	
Mensurando (l/s)			Absoluta	Relativa	y ± U (%)		Nível de Confiança	Erro sistemático da turbina (%)		Fatores de Correção							
(y)	0,150	Incerteza Combinada (uc)	0,0001	0,001	0,150	± 0,207	95,00	Contagem dos Pulsos	Indicativa	Fator-k Double-Timing	Fator-k Processado	MF					
		Incerteza Expandida (U)	0,0003	0,002			ts= 2,09						1,41%	8,53%	493,39	493,78	1,014139
							v= 19										

Experimento: Esferas de diferentes diâmetros **Sentido:** Anti-horário **Graus de Liberdade (ν):** 19
Trecho: S4-S1 **Nível de Vazão:** Mínima

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER										TURBINA						VAZÃO (l/s)		
		0,18 [kgf/cm²]	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA
Anti-Horário	6	TEMPERATURA INICIAL [°C] 23,42		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)																			
1	41	23,54	132,69	1,0000	1,00074	1,00074	1,00009	1,00001	0,99920	19,85	19,84	19,84	9804	132,67	9804,95	9804,54	493,91	494,25	0,150	0,148	0,115
2	41	23,60	132,40	1,0000	1,00076	1,00076	1,00009	1,00001	0,99919	19,85	19,84	19,84	9796	132,39	9797,01	9796,67	493,50	493,86	0,150	0,148	0,161
3	41	23,61	132,44	1,0000	1,00076	1,00076	1,00009	1,00001	0,99919	19,85	19,84	19,84	9793	132,44	9793,54	9793,58	493,33	493,70	0,150	0,148	0,156
4	41	23,64	132,39	1,0001	1,00076	1,00076	1,00009	1,00001	0,99918	19,85	19,84	19,84	9791	132,38	9791,90	9791,74	493,24	493,61	0,150	0,148	0,115
5	41	23,70	132,59	1,0001	1,00078	1,00078	1,00009	1,00001	0,99916	19,85	19,84	19,84	9804	132,57	9804,98	9804,68	493,90	494,26	0,150	0,148	0,123
6	41	23,73	132,67	1,0001	1,00078	1,00078	1,00009	1,00001	0,99916	19,85	19,84	19,84	9811	132,66	9811,73	9811,29	494,23	494,59	0,150	0,148	0,138
7	41	23,79	133,37	1,0001	1,00080	1,00080	1,00009	1,00001	0,99914	19,85	19,84	19,84	9849	133,37	9849,14	9849,14	496,11	496,50	0,149	0,148	0,151
8	41	23,86	132,30	1,0001	1,00081	1,00081	1,00009	1,00001	0,99913	19,85	19,83	19,84	9779	132,29	9779,43	9779,04	492,59	492,97	0,150	0,148	0,143
9	41	23,88	132,95	1,0001	1,00081	1,00081	1,00009	1,00001	0,99912	19,85	19,83	19,84	9823	132,94	9824,02	9823,73	494,84	495,22	0,149	0,148	0,134
10	41	23,90	132,64	1,0001	1,00082	1,00082	1,00009	1,00001	0,99912	19,85	19,83	19,84	9798	132,63	9798,48	9798,41	493,55	493,94	0,150	0,148	0,156
11	41	23,97	132,62	1,0001	1,00083	1,00083	1,00009	1,00001	0,99910	19,85	19,83	19,84	9789	132,61	9790,00	9789,83	493,11	493,51	0,150	0,148	0,156
12	41	24,01	132,62	1,0001	1,00084	1,00084	1,00009	1,00001	0,99909	19,85	19,83	19,84	9812	132,60	9812,81	9812,35	494,26	494,65	0,150	0,148	0,121
13	41	24,03	133,18	1,0001	1,00085	1,00085	1,00009	1,00001	0,99908	19,85	19,83	19,84	9846	133,18	9846,18	9846,16	495,94	496,35	0,149	0,148	0,125
14	41	24,06	133,04	1,0002	1,00085	1,00085	1,00009	1,00001	0,99908	19,85	19,83	19,84	9834	133,04	9834,22	9834,09	495,33	495,74	0,149	0,148	0,151
15	41	24,07	132,64	1,0002	1,00086	1,00086	1,00009	1,00001	0,99907	19,85	19,83	19,84	9807	132,63	9807,74	9807,56	494,00	494,41	0,150	0,148	0,148
16	41	24,10	132,56	1,0002	1,00086	1,00086	1,00009	1,00001	0,99906	19,85	19,83	19,84	9794	132,54	9794,98	9794,99	493,35	493,77	0,150	0,148	0,144
17	41	24,17	132,72	1,0002	1,00088	1,00088	1,00009	1,00001	0,99905	19,85	19,83	19,84	9794	132,71	9794,63	9794,60	493,33	493,75	0,150	0,147	0,156
18	41	24,23	133,34	1,0002	1,00089	1,00089	1,00009	1,00001	0,99903	19,85	19,83	19,84	9839	133,33	9840,13	9839,79	495,61	496,03	0,149	0,147	0,159
19	41	24,24	132,50	1,0002	1,00089	1,00089	1,00009	1,00001	0,99903	19,85	19,83	19,84	9788	132,50	9788,16	9788,04	492,99	493,42	0,150	0,148	0,140
20	41	24,29	132,56	1,0002	1,00090	1,00090	1,00009	1,00001	0,99902	19,85	19,83	19,84	9786	132,55	9786,74	9786,72	492,92	493,36	0,150	0,148	0,125
μ			132,71							19,85	19,83	19,84	9807	132,70	9807,54	9807,35	494,00	494,40	0,150	0,148	0,141
s(x̄)			0,3082										21	0,3093	20,76	20,77	1,04	1,05	0,0003	0,0001	0,0152
u(x̄)			0,0689										5	0,0692	4,64	4,64	0,23	0,23	0,0001	0,0000	0,0034

RESULTADO														
Mensurando (l/s)			Absoluta	Relativa	y ± U (%)		Nível de Confiança	Erro sistemático da turbina (%)		Fatores de Correção				
(y)	0,150	Incerteza Combinada (uc)	0,0002	0,001	0,150	±	0,220	95,00	Contagem dos Pulsos	Indicativa	Fator-k	Fator-k	MF	
		Incerteza Expandida (U)	0,0003	0,002				ts= 2,09	1,29%	6,13%	Double-Timing	Processado		
							v= 19				494,00	494,40	1,012888	

Experimento: Esferas de diferentes
diâmetros

Sentido: Horário
Trecho: S1-S4

Graus de Liberdade (ν): 18
Nível de Vazão: Máxima

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER									TURBINA						VAZÃO (l/s)			
		0,5 [kgf/cm²]	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO					VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA	
Horário	A	TEMPERATURA INICIAL [°C] 24,69		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)																			
1	14	24,91	61,87	1,0001	1,00103	1,00103	1,00025	1,00002	0,99886	19,85	19,83	19,83	9732	61,86	9733,14	9732,74	490,31	490,79	0,321	0,314	0,276
2	14	25,01	63,32	1,0001	1,00105	1,00105	1,00025	1,00002	0,99883	19,85	19,83	19,83	9735	63,31	9736,26	9735,90	490,46	490,95	0,314	0,307	0,281
3	14	25,07	62,84	1,0001	1,00106	1,00106	1,00025	1,00002	0,99882	19,85	19,83	19,83	9731	62,84	9732,16	9731,86	490,25	490,74	0,316	0,309	0,317
4	14	25,14	66,40	1,0001	1,00108	1,00108	1,00025	1,00002	0,99880	19,85	19,83	19,83	9747	66,40	9747,68	9747,68	491,02	491,54	0,299	0,293	0,281
5	14	25,18	62,05	1,0001	1,00109	1,00109	1,00025	1,00002	0,99879	19,85	19,83	19,83	9733	62,05	9733,97	9733,72	490,33	490,84	0,320	0,313	0,308
6	14	25,21	63,23	1,0001	1,00109	1,00109	1,00025	1,00002	0,99878	19,85	19,83	19,83	9735	63,22	9735,48	9735,38	490,40	490,92	0,314	0,308	0,294
7	14	25,23	62,19	1,0001	1,00110	1,00110	1,00025	1,00002	0,99878	19,85	19,83	19,83	9734	62,19	9734,59	9734,15	490,35	490,86	0,319	0,313	0,301
8	14	25,26	61,98	1,0001	1,00111	1,00111	1,00025	1,00002	0,99877	19,85	19,83	19,83	9729	61,97	9730,04	9729,69	490,12	490,63	0,320	0,314	0,293
9	14	25,29	63,26	1,0002	1,00111	1,00111	1,00025	1,00002	0,99876	19,85	19,83	19,83	9737	63,26	9737,65	9737,28	490,50	491,02	0,314	0,308	0,309
10	14	25,34	63,49	1,0002	1,00112	1,00112	1,00025	1,00002	0,99875	19,85	19,83	19,83	9737	63,49	9737,64	9737,37	490,50	491,02	0,313	0,307	0,279
11	14	25,35	62,16	1,0002	1,00112	1,00112	1,00025	1,00002	0,99875	19,85	19,83	19,83	9732	62,15	9732,96	9732,71	490,26	490,79	0,319	0,313	0,315
12	14	25,38	62,23	1,0002	1,00113	1,00113	1,00025	1,00002	0,99874	19,85	19,83	19,83	9734	62,23	9734,56	9734,33	490,34	490,87	0,319	0,313	0,313
13	14	25,39	63,59	1,0002	1,00113	1,00113	1,00025	1,00002	0,99874	19,85	19,83	19,83	9736	63,58	9737,28	9736,83	490,47	490,99	0,312	0,306	0,321
14	14	25,43	62,24	1,0002	1,00114	1,00114	1,00025	1,00002	0,99873	19,85	19,83	19,83	9730	62,23	9731,26	9730,98	490,17	490,70	0,319	0,312	0,335
15	14	25,44	62,37	1,0002	1,00114	1,00114	1,00025	1,00002	0,99873	19,85	19,83	19,83	9732	62,36	9733,32	9732,85	490,27	490,79	0,318	0,312	0,314
16	14	25,46	61,98	1,0002	1,00115	1,00115	1,00025	1,00002	0,99872	19,85	19,83	19,83	9730	61,98	9730,16	9730,05	490,11	490,65	0,320	0,314	0,326
17	14	25,46	61,99	1,0002	1,00115	1,00115	1,00025	1,00002	0,99872	19,85	19,83	19,83	9732	61,98	9732,71	9732,42	490,24	490,77	0,320	0,314	0,302
18	14	25,51	62,29	1,0002	1,00116	1,00116	1,00025	1,00002	0,99870	19,85	19,83	19,83	9732	62,29	9732,89	9732,81	490,24	490,79	0,319	0,312	0,291
19	14	25,54	64,68	1,0002	1,00116	1,00116	1,00025	1,00002	0,99870	19,85	19,83	19,83	9742	64,68	9742,33	9742,34	490,71	491,27	0,307	0,301	0,316
20	14	25,56	62,12	1,0002	1,00117	1,00117	1,00025	1,00002	0,99869	19,85	19,83	19,83	9732	62,12	9732,36	9732,18	490,21	490,76	0,320	0,313	0,302
μ			62,62							19,85	19,83	19,83	9733	62,62	9734,25	9733,98	490,33	490,85	0,317	0,311	0,305
s(xi)			0,7634										3	0,7637	3,01	3,03	0,15	0,15	0,0038	0,0037	0,0161
u(xi)			0,1751										1	0,1752	0,69	0,69	0,03	0,04			
RESULTADO																					
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)			Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)				Fatores de Correção					
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0009		0,003			95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa		Fator-k Double-Timing		Fator-k Processado		MF	
			Incerteza Expandida (U)		0,0020		0,006			ts= 2,1 v= 18		2,05%		4,04%		490,33		490,85		1,020513	

Experimento: Esferas de diferentes
diâmetros

Sentido: Anti-horário
Trecho: S4-S1

Graus de Liberdade (ν): 18
Nível de Vazão: Máxima

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER										TURBINA						VAZÃO (l/s)				
		0,5 [kgf/cm²]	TEMPO	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA		
		TEMPERATURA INICIAL [°C]		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	nº PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO				[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)	24,69																				
1	41	24,95	62,17	1,0001	1,00104	1,00104	1,00025	1,00002	0,99885	19,85	19,83	19,83	9730	62,16	9730,43	9730,26	490,17	490,66	0,319	0,313	0,304		
2	41	25,03	62,22	1,0001	1,00106	1,00106	1,00025	1,00002	0,99883	19,85	19,83	19,83	9731	62,22	9731,70	9731,33	490,23	490,72	0,319	0,313	0,323		
3	41	25,11	62,21	1,0001	1,00107	1,00107	1,00025	1,00002	0,99881	19,85	19,83	19,83	9729	62,20	9730,19	9729,84	490,15	490,64	0,319	0,313	0,319		
4	41	25,16	63,44	1,0001	1,00108	1,00108	1,00025	1,00002	0,99880	19,85	19,83	19,83	9735	63,44	9735,29	9735,05	490,40	490,91	0,313	0,307	0,296		
5	41	25,17	62,24	1,0001	1,00109	1,00109	1,00025	1,00002	0,99879	19,85	19,83	19,83	9736	62,23	9736,37	9736,25	490,45	490,97	0,319	0,313	0,327		
6	41	25,21	62,32	1,0001	1,00109	1,00109	1,00025	1,00002	0,99878	19,85	19,83	19,83	9732	62,31	9732,80	9732,68	490,27	490,79	0,319	0,312	0,296		
7	41	25,25	62,35	1,0001	1,00110	1,00110	1,00025	1,00002	0,99877	19,85	19,83	19,83	9733	62,34	9734,40	9733,93	490,34	490,85	0,318	0,312	0,304		
8	41	25,27	62,20	1,0001	1,00111	1,00111	1,00025	1,00002	0,99877	19,85	19,83	19,83	9733	62,19	9733,57	9733,58	490,30	490,83	0,319	0,313	0,317		
9	41	25,30	62,13	1,0002	1,00111	1,00111	1,00025	1,00002	0,99876	19,85	19,83	19,83	9734	62,12	9734,71	9734,54	490,35	490,88	0,320	0,313	0,321		
10	41	25,33	62,36	1,0002	1,00112	1,00112	1,00025	1,00002	0,99875	19,85	19,83	19,83	9731	62,36	9731,66	9731,33	490,20	490,72	0,318	0,312	0,312		
11	41	25,35	66,77	1,0002	1,00112	1,00112	1,00025	1,00002	0,99875	19,85	19,83	19,83	9749	66,76	9750,01	9749,58	491,12	491,64	0,297	0,292	0,248		
12	41	25,36	62,35	1,0002	1,00113	1,00113	1,00025	1,00002	0,99874	19,85	19,83	19,83	9733	62,35	9733,49	9733,46	490,29	490,82	0,318	0,312	0,312		
13	41	25,40	63,70	1,0002	1,00113	1,00113	1,00025	1,00002	0,99873	19,85	19,83	19,83	9733	63,70	9733,85	9733,59	490,30	490,83	0,312	0,305	0,279		
14	41	25,43	63,64	1,0002	1,00114	1,00114	1,00025	1,00002	0,99873	19,85	19,83	19,83	9736	63,64	9736,82	9736,54	490,45	490,98	0,312	0,306	0,291		
15	41	25,44	62,40	1,0002	1,00114	1,00114	1,00025	1,00002	0,99872	19,85	19,83	19,83	9732	62,40	9732,59	9732,43	490,23	490,77	0,318	0,312	0,306		
16	41	25,44	62,44	1,0002	1,00114	1,00114	1,00025	1,00002	0,99872	19,85	19,83	19,83	9733	62,44	9733,36	9733,08	490,27	490,81	0,318	0,312	0,301		
17	41	25,48	63,84	1,0002	1,00115	1,00115	1,00025	1,00002	0,99871	19,85	19,83	19,83	9737	63,84	9737,29	9737,13	490,46	491,01	0,311	0,305	0,294		
18	41	25,52	62,39	1,0002	1,00116	1,00116	1,00025	1,00002	0,99870	19,85	19,83	19,83	9733	62,38	9733,75	9733,37	490,28	490,82	0,318	0,312	0,307		
19	41	25,53	63,91	1,0002	1,00116	1,00116	1,00025	1,00002	0,99870	19,85	19,83	19,83	9735	63,91	9735,09	9735,05	490,35	490,91	0,311	0,304	0,300		
20	41	25,55	62,41	1,0002	1,00117	1,00117	1,00025	1,00002	0,99869	19,85	19,83	19,83	9733	62,40	9733,69	9733,24	490,28	490,81	0,318	0,312	0,307		
μ			62,67							19,85	19,83	19,83	9733	62,67	9733,74	9733,51	490,30	490,83	0,317	0,310	0,306		
s(xi)			0,6493										2	0,6500	1,96	1,99	0,09	0,10	0,0032	0,0031	0,0122		
u(xi)			0,1490										0	0,1491	0,45	0,46	0,02	0,02	0,0007	0,0007	0,0028		

RESULTADO													
Mensurando (l/s)			Absoluta	Relativa	y ± U (%)		Nível de Confiança	Erro sistemático da turbina (%)		Fatores de Correção			
(y)	0,317	Incerteza Combinada (uc)	0,0008	0,003	0,317	±	0,542	95,00	Contagem dos Pulsos	Indicativa	Fator-k Double-Timing	Fator-k Processado	MF
		Incerteza Expandida (U)	0,0017	0,005					ts= 2,1 v= 18	2,06%	3,58%	490,30	490,83

Experimento: Esferas de diferentes
diâmetros

Sentido: Horário
Trecho: S1-S4

Graus de Liberdade (ν): 18
Nível de Vazão: Intermediária

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER										TURBINA							VAZÃO (l/s)				
		0,39 [kgf/cm²]	TEMPO	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA			
		TEMPERATURA INICIAL [°C]		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO				[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]
Horário	A	23,49	TEMPO (seg.)																					
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)																						
1	14	23,63	87,25	1,0000	1,00076	1,00076	1,00020	1,00002	0,99918	19,85	19,84	19,83	9762	87,24	9763,34	9762,91	491,82	492,16	0,228	0,224	0,219			
2	14	23,80	89,51	1,0001	1,00080	1,00080	1,00020	1,00002	0,99914	19,85	19,84	19,83	9775	89,51	9775,46	9775,24	492,41	492,78	0,222	0,218	0,227			
3	14	23,87	87,20	1,0001	1,00081	1,00081	1,00020	1,00002	0,99912	19,85	19,83	19,83	9763	87,19	9763,61	9763,36	491,81	492,19	0,228	0,224	0,213			
4	14	23,95	87,00	1,0001	1,00083	1,00083	1,00020	1,00002	0,99910	19,85	19,83	19,83	9764	86,99	9764,94	9764,58	491,87	492,25	0,228	0,224	0,227			
5	14	24,00	87,45	1,0001	1,00084	1,00084	1,00020	1,00002	0,99909	19,85	19,83	19,83	9766	87,45	9766,73	9766,28	491,95	492,33	0,227	0,223	0,205			
6	14	24,06	86,77	1,0001	1,00085	1,00085	1,00020	1,00002	0,99907	19,85	19,83	19,83	9764	86,77	9764,61	9764,55	491,84	492,25	0,229	0,225	0,213			
7	14	24,11	87,33	1,0002	1,00086	1,00086	1,00020	1,00002	0,99906	19,85	19,83	19,83	9767	87,32	9767,74	9767,41	491,99	492,39	0,227	0,224	0,252			
8	14	24,16	86,28	1,0002	1,00087	1,00087	1,00020	1,00002	0,99905	19,85	19,83	19,83	9763	86,27	9763,87	9763,59	491,79	492,20	0,230	0,226	0,232			
9	14	24,21	86,50	1,0002	1,00088	1,00088	1,00020	1,00002	0,99904	19,85	19,83	19,83	9765	86,50	9765,88	9765,78	491,89	492,31	0,229	0,226	0,203			
10	14	24,26	86,61	1,0002	1,00089	1,00089	1,00020	1,00002	0,99903	19,85	19,83	19,83	9765	86,61	9765,88	9765,68	491,88	492,30	0,229	0,225	0,185			
11	14	24,30	86,46	1,0002	1,00090	1,00090	1,00020	1,00002	0,99902	19,85	19,83	19,83	9766	86,46	9766,58	9766,44	491,91	492,34	0,230	0,226	0,245			
12	14	24,33	87,70	1,0002	1,00091	1,00091	1,00020	1,00002	0,99901	19,85	19,83	19,83	9771	87,70	9771,51	9771,40	492,16	492,59	0,226	0,223	0,213			
13	14	24,39	87,70	1,0002	1,00092	1,00092	1,00020	1,00002	0,99899	19,85	19,83	19,83	9772	87,69	9772,69	9772,22	492,21	492,63	0,226	0,223	0,225			
14	14	24,43	86,76	1,0002	1,00093	1,00093	1,00020	1,00002	0,99898	19,85	19,83	19,83	9768	86,76	9768,60	9768,49	492,00	492,44	0,229	0,225	0,241			
15	14	24,49	88,24	1,0002	1,00094	1,00094	1,00020	1,00002	0,99897	19,85	19,83	19,83	9773	88,22	9774,34	9773,96	492,28	492,72	0,225	0,221	0,161			
16	14	24,58	88,39	1,0003	1,00096	1,00096	1,00020	1,00002	0,99895	19,85	19,83	19,83	9773	88,39	9773,20	9773,07	492,22	492,68	0,225	0,221	0,224			
17	14	24,64	87,58	1,0003	1,00097	1,00097	1,00020	1,00002	0,99893	19,85	19,83	19,83	9770	87,57	9771,24	9770,99	492,11	492,57	0,227	0,223	0,244			
18	14	24,70	86,89	1,0003	1,00099	1,00099	1,00020	1,00002	0,99892	19,85	19,83	19,83	9767	86,88	9768,18	9767,73	491,95	492,41	0,228	0,225	0,241			
19	14	24,70	86,60	1,0003	1,00099	1,00099	1,00020	1,00002	0,99891	19,85	19,83	19,83	9769	86,59	9769,26	9769,21	492,01	492,48	0,229	0,225	0,214			
20	14	24,74	87,68	1,0003	1,00100	1,00100	1,00020	1,00002	0,99890	19,85	19,83	19,83	9771	87,67	9772,36	9771,90	492,16	492,62	0,226	0,223	0,215			
μ			87,18										19,85	19,83	19,83	9767	87,17	9768,14	9767,87	491,99	492,41	0,228	0,224	0,220
s(xi)			0,6022													4	0,6018	3,53	3,52	0,15	0,18	0,0016	0,0015	0,0222
u(xi)			0,1382													1	0,1381	0,81	0,81	0,04	0,04			

RESULTADO														
Mensurando (l/s)			Absoluta	Relativa	y ± U (%)		Nível de Confiança	Erro sistemático da turbina (%)		Fatores de Correção				
(y)	0,228	Incerteza Combinada (uc)	0,0004	0,002	0,228	±	0,390	95,00	Contagem dos Pulsos	Indicativa	Fator-k	Fator-k	MF	
		Incerteza Expandida (U)	0,0009	0,004				ts= 2,1	1,70%	3,70%	491,99	492,41	1,016971	
							v= 18							

Experimento: Esferas de diferentes

Sentido: Anti-horário

Graus de Liberdade (ν): 18

diâmetros

Trecho: S4-S1

Nível de Vazão:

Intermediária

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER									TURBINA						VAZÃO (l/s)					
		0,39 [kgf/cm²]	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA		
Anti-Horário	A	TEMPERATURA INICIAL [°C] 23,49		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	nº PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]		
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)	[=V _M /t]																[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]			
1	41	23,72	86,99	1,0001	1,00078	1,00078	1,00020	1,00002	0,99916	19,85	19,84	19,83	9762	86,98	9763,19	9762,97	491,80	492,17	0,228	0,224	0,219		
2	41	23,82	86,60	1,0001	1,00080	1,00080	1,00020	1,00002	0,99914	19,85	19,84	19,83	9762	86,59	9762,70	9762,54	491,77	492,14	0,229	0,225	0,206		
3	41	23,90	86,56	1,0001	1,00082	1,00082	1,00020	1,00002	0,99912	19,85	19,83	19,83	9762	86,55	9762,94	9762,79	491,77	492,16	0,229	0,225	0,207		
4	41	23,95	86,87	1,0001	1,00083	1,00083	1,00020	1,00002	0,99910	19,85	19,83	19,83	9763	86,86	9763,95	9763,96	491,82	492,22	0,229	0,225	0,232		
5	41	24,01	86,51	1,0001	1,00084	1,00084	1,00020	1,00002	0,99909	19,85	19,83	19,83	9763	86,50	9763,70	9763,71	491,80	492,20	0,229	0,226	0,246		
6	41	24,07	86,68	1,0001	1,00085	1,00085	1,00020	1,00002	0,99907	19,85	19,83	19,83	9764	86,67	9764,43	9764,29	491,83	492,23	0,229	0,225	0,213		
7	41	24,11	86,67	1,0002	1,00086	1,00086	1,00020	1,00002	0,99906	19,85	19,83	19,83	9764	86,67	9764,67	9764,26	491,84	492,23	0,229	0,225	0,205		
8	41	24,16	86,40	1,0002	1,00087	1,00087	1,00020	1,00002	0,99905	19,85	19,83	19,83	9764	86,39	9765,42	9764,91	491,87	492,26	0,230	0,226	0,229		
9	41	24,19	87,36	1,0002	1,00088	1,00088	1,00020	1,00002	0,99904	19,85	19,83	19,83	9767	87,35	9767,85	9767,46	491,99	492,39	0,227	0,223	0,206		
10	41	24,25	86,63	1,0002	1,00089	1,00089	1,00020	1,00002	0,99903	19,85	19,83	19,83	9766	86,63	9766,46	9766,17	491,91	492,33	0,229	0,225	0,237		
11	41	24,29	86,55	1,0002	1,00090	1,00090	1,00020	1,00002	0,99902	19,85	19,83	19,83	9766	86,54	9767,05	9766,72	491,94	492,35	0,229	0,226	0,220		
12	41	24,32	87,63	1,0002	1,00091	1,00091	1,00020	1,00002	0,99901	19,85	19,83	19,83	9771	87,63	9771,47	9771,08	492,16	492,57	0,227	0,223	0,225		
13	41	24,37	87,23	1,0002	1,00092	1,00092	1,00020	1,00002	0,99900	19,85	19,83	19,83	9767	87,22	9767,73	9767,28	491,96	492,38	0,228	0,224	0,236		
14	41	24,44	89,70	1,0002	1,00093	1,00093	1,00020	1,00002	0,99898	19,85	19,83	19,83	9773	89,68	9774,38	9773,99	492,29	492,72	0,221	0,218	0,211		
15	41	24,50	86,71	1,0003	1,00094	1,00094	1,00020	1,00002	0,99897	19,85	19,83	19,83	9768	86,71	9768,67	9768,24	492,00	492,43	0,229	0,225	0,206		
16	41	24,56	86,78	1,0003	1,00096	1,00096	1,00020	1,00002	0,99895	19,85	19,83	19,83	9768	86,77	9769,09	9768,55	492,01	492,45	0,229	0,225	0,214		
17	41	24,65	88,23	1,0003	1,00098	1,00098	1,00020	1,00002	0,99893	19,85	19,83	19,83	9773	88,22	9774,09	9773,66	492,25	492,70	0,225	0,221	0,225		
18	41	24,66	86,67	1,0003	1,00098	1,00098	1,00020	1,00002	0,99892	19,85	19,83	19,83	9769	86,66	9769,52	9769,27	492,02	492,48	0,229	0,225	0,269		
19	41	24,69	86,59	1,0003	1,00098	1,00098	1,00020	1,00002	0,99892	19,85	19,83	19,83	9769	86,59	9769,52	9769,45	492,02	492,49	0,229	0,225	0,246		
20	41	24,76	86,46	1,0003	1,00100	1,00100	1,00020	1,00002	0,99890	19,85	19,83	19,83	9767	86,45	9768,24	9767,79	491,95	492,41	0,230	0,226	0,229		
μ			86,85									19,85	19,83	19,83	9766	86,84	9766,88	9766,58	491,93	492,35	0,229	0,225	0,225
s(xi)			0,4645										3	0,4645	3,14	3,05	0,13	0,15	0,0012	0,0011	0,0173		
u(xi)			0,1066										1	0,1066	0,72	0,70	0,03	0,04	0,0003	0,0003	0,0040		
RESULTADO																							
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)						Fatores de Correção						
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0004		0,002		95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa				Fator-k		Fator-k		MF		
																	Double-Timing		Processado				
			Incerteza Expandida (U)		0,0008		0,003		ts= 2,1 v= 18		1,71%		1,69%				491,93		492,35		1,017101		

Experimento: Esferas de diferentes diâmetros

Sentido: Horário

Graus de Liberdade (ν): 19

Trecho: S1-S4

Nível de Vazão: Mínima

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER										TURBINA						VAZÃO (l/s)				
		0,34 [kgf/cm²]	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO					VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA			
Horário	A	TEMPERATURA INICIAL [°C] 23,97																					
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	nº PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]		
1	14	24,16	143,40	1,0000	1,00087	1,00087	1,00017	1,00002	0,99905	19,85	19,83	19,83	9820	143,39	9820,48	9820,12	494,70	495,11	0,138	0,137	0,104		
2	14	24,27	143,00	1,0001	1,00090	1,00090	1,00017	1,00002	0,99902	19,85	19,83	19,83	9819	142,99	9820,06	9819,54	494,67	495,08	0,139	0,137	0,104		
3	14	24,35	142,77	1,0001	1,00091	1,00091	1,00017	1,00002	0,99900	19,85	19,83	19,83	9820	142,76	9820,40	9820,36	494,68	495,12	0,139	0,137	0,141		
4	14	24,39	141,92	1,0001	1,00092	1,00092	1,00017	1,00002	0,99899	19,85	19,83	19,83	9822	141,91	9822,80	9822,67	494,79	495,23	0,140	0,138	0,083		
5	14	24,45	141,95	1,0001	1,00093	1,00093	1,00017	1,00002	0,99898	19,85	19,83	19,83	9824	141,93	9824,80	9824,51	494,89	495,33	0,140	0,138	0,091		
6	14	24,49	141,57	1,0001	1,00094	1,00094	1,00017	1,00002	0,99897	19,85	19,83	19,83	9826	141,55	9826,98	9826,67	494,99	495,44	0,140	0,139	0,138		
7	14	24,54	140,53	1,0001	1,00095	1,00095	1,00017	1,00002	0,99896	19,85	19,83	19,83	9825	140,51	9825,94	9825,88	494,93	495,40	0,141	0,140	0,139		
8	14	24,57	139,54	1,0002	1,00096	1,00096	1,00017	1,00002	0,99895	19,85	19,83	19,83	9825	139,53	9825,54	9825,54	494,91	495,38	0,142	0,141	0,146		
9	14	24,65	139,56	1,0002	1,00098	1,00098	1,00017	1,00002	0,99893	19,85	19,83	19,83	9826	139,56	9826,21	9826,04	494,94	495,40	0,142	0,141	0,119		
10	14	24,71	139,19	1,0002	1,00099	1,00099	1,00017	1,00002	0,99891	19,85	19,83	19,83	9826	139,17	9827,13	9826,78	494,98	495,44	0,143	0,141	0,166		
11	14	24,72	139,42	1,0002	1,00099	1,00099	1,00017	1,00002	0,99891	19,85	19,83	19,83	9827	139,41	9827,80	9827,36	495,01	495,47	0,142	0,141	0,131		
12	14	24,80	139,26	1,0002	1,00101	1,00101	1,00017	1,00002	0,99889	19,85	19,83	19,83	9827	139,25	9827,77	9827,54	495,00	495,48	0,143	0,141	0,144		
13	14	24,86	139,41	1,0002	1,00102	1,00102	1,00017	1,00002	0,99887	19,85	19,83	19,83	9830	139,40	9830,83	9830,31	495,15	495,62	0,142	0,141	0,129		
14	14	24,85	139,16	1,0002	1,00102	1,00102	1,00017	1,00002	0,99888	19,85	19,83	19,83	9829	139,15	9829,82	9829,72	495,10	495,59	0,143	0,141	0,138		
15	14	24,91	139,29	1,0002	1,00103	1,00103	1,00017	1,00002	0,99886	19,85	19,83	19,83	9830	139,29	9830,38	9830,13	495,12	495,61	0,143	0,141	0,159		
16	14	24,95	133,09	1,0002	1,00104	1,00104	1,00017	1,00002	0,99885	19,85	19,83	19,83	9820	133,07	9821,41	9820,97	494,66	495,15	0,149	0,147	0,130		
17	14	24,91	133,28	1,0002	1,00103	1,00103	1,00017	1,00002	0,99886	19,85	19,83	19,83	9821	133,28	9821,37	9821,07	494,67	495,15	0,149	0,147	0,112		
18	14	24,93	134,71	1,0002	1,00104	1,00104	1,00017	1,00002	0,99886	19,85	19,83	19,83	9823	134,70	9823,85	9823,73	494,79	495,29	0,147	0,146	0,115		
19	14	24,98	134,44	1,0003	1,00104	1,00104	1,00017	1,00002	0,99884	19,85	19,83	19,83	9822	134,43	9822,72	9822,47	494,73	495,22	0,148	0,146	0,131		
20	14	25,03	134,36	1,0003	1,00106	1,00106	1,00017	1,00002	0,99883	19,85	19,83	19,83	9823	134,35	9823,32	9823,22	494,75	495,26	0,148	0,146	0,135		
μ			138,99									19,85	19,83	19,83	9824	138,98	9824,98	9824,73	494,87	495,34	0,143	0,141	0,128
s(xi)			3,2872									3		3,2870	3,40	3,40	0,16	0,17	0,0034	0,0034	0,0212		
u(xi)			0,7350									1		0,7350	0,76	0,76	0,04	0,04					
RESULTADO																							
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)				Fatores de Correção								
(y)			0,143						95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa		Fator-k		Fator-k		MF				
			Incerteza Combinada (uc)		0,0008		0,005								Double-Timing		Processado						
			Incerteza Expandida (U)		0,0016		0,011		ts= 2,09		1,11%		11,75%		494,87		495,34		1,011086				
									v= 19														

Experimento: Esferas de diferentes diâmetros

Sentido: Anti-horário

Graus de Liberdade (ν): 19

Trecho: S4-S1

Nível de Vazão: Mínima

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO		PIPE PROVER									TURBINA						VAZÃO (l/s)					
		0,34 [kgf/cm²]	TEMPERATURA INICIAL [°C] 23,97	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO					VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA			
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)			C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	nº PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]		
1	41	24,21	143,29	1,0001	1,00088	1,00088	1,00017	1,00002	0,99904	19,85	19,83	19,83	9824	143,28	9824,96	9824,89	494,92	495,35	0,139	0,137	0,115			
2	41	24,30	143,10	1,0001	1,00090	1,00090	1,00017	1,00002	0,99901	19,85	19,83	19,83	9823	143,09	9823,73	9823,57	494,85	495,28	0,139	0,137	0,133			
3	41	24,36	142,57	1,0001	1,00092	1,00092	1,00017	1,00002	0,99900	19,85	19,83	19,83	9824	142,56	9824,83	9824,51	494,90	495,33	0,139	0,138	0,115			
4	41	24,42	142,73	1,0001	1,00093	1,00093	1,00017	1,00002	0,99899	19,85	19,83	19,83	9830	142,71	9830,80	9830,39	495,19	495,62	0,139	0,138	0,120			
5	41	24,44	143,04	1,0001	1,00093	1,00093	1,00017	1,00002	0,99898	19,85	19,83	19,83	9831	143,03	9831,92	9831,86	495,25	495,70	0,139	0,137	0,120			
6	41	24,48	140,27	1,0001	1,00094	1,00094	1,00017	1,00002	0,99897	19,85	19,83	19,83	9824	140,25	9824,90	9824,76	494,89	495,34	0,142	0,140	0,138			
7	41	24,53	139,55	1,0001	1,00095	1,00095	1,00017	1,00002	0,99896	19,85	19,83	19,83	9824	139,53	9825,08	9824,84	494,89	495,34	0,142	0,141	0,115			
8	41	24,57	139,26	1,0001	1,00096	1,00096	1,00017	1,00002	0,99895	19,85	19,83	19,83	9824	139,24	9825,16	9824,77	494,89	495,34	0,143	0,141	0,161			
9	41	24,66	139,31	1,0002	1,00098	1,00098	1,00017	1,00002	0,99892	19,85	19,83	19,83	9826	139,31	9826,48	9826,54	494,95	495,43	0,143	0,141	0,149			
10	41	24,68	139,27	1,0002	1,00098	1,00098	1,00017	1,00002	0,99892	19,85	19,83	19,83	9828	139,26	9828,15	9828,11	495,03	495,51	0,143	0,141	0,132			
11	41	24,71	141,23	1,0002	1,00099	1,00099	1,00017	1,00002	0,99891	19,85	19,83	19,83	9832	141,22	9833,13	9832,85	495,28	495,75	0,141	0,139	0,127			
12	41	24,82	139,26	1,0002	1,00101	1,00101	1,00017	1,00002	0,99889	19,85	19,83	19,83	9828	139,25	9829,20	9828,98	495,07	495,55	0,143	0,141	0,156			
13	41	24,85	140,83	1,0002	1,00102	1,00102	1,00017	1,00002	0,99888	19,85	19,83	19,83	9834	140,83	9834,16	9834,16	495,32	495,81	0,141	0,140	0,146			
14	41	24,86	139,26	1,0002	1,00102	1,00102	1,00017	1,00002	0,99887	19,85	19,83	19,83	9830	139,25	9830,31	9830,11	495,12	495,61	0,143	0,141	0,128			
15	41	24,91	139,13	1,0002	1,00103	1,00103	1,00017	1,00002	0,99886	19,85	19,83	19,83	9831	139,12	9831,65	9831,33	495,18	495,67	0,143	0,141	0,127			
16	41	24,91	133,17	1,0002	1,00103	1,00103	1,00017	1,00002	0,99886	19,85	19,83	19,83	9824	133,16	9825,06	9824,64	494,85	495,33	0,149	0,147	0,162			
17	41	24,89	133,93	1,0002	1,00103	1,00103	1,00017	1,00002	0,99887	19,85	19,83	19,83	9822	133,92	9822,63	9822,53	494,73	495,23	0,148	0,147	0,128			
18	41	24,92	135,36	1,0002	1,00103	1,00103	1,00017	1,00002	0,99886	19,85	19,83	19,83	9826	135,35	9826,54	9826,12	494,92	495,41	0,147	0,145	0,127			
19	41	24,99	134,00	1,0003	1,00105	1,00105	1,00017	1,00002	0,99884	19,85	19,83	19,83	9822	134,00	9822,43	9822,46	494,71	495,22	0,148	0,146	0,149			
20	41	25,01	135,49	1,0003	1,00105	1,00105	1,00017	1,00002	0,99884	19,85	19,83	19,83	9827	135,48	9828,16	9827,93	495,00	495,50	0,147	0,145	0,144			
μ				139,20									19,85	19,83	19,83	9827	139,19	9827,46	9827,27	495,00	495,47	0,143	0,141	0,135
s(xi)				3,2307											4	3,2300	3,54	3,54	0,18	0,18	0,0034	0,0033	0,0151	
u(xi)				0,7224											1	0,7223	0,79	0,79	0,04	0,04	0,0008	0,0007	0,0034	
RESULTADO																								
Mensurando (l/s)				Absoluta		Relativa		y ± U (%)			Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)				Fatores de Correção							
(y)				0,143		0,0008		0,005		0,143 ± 1,103			95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa		Fator-k		Fator-k		MF	
				Incerteza Combinada (uc)														Double-Timing		Processado				
				Incerteza Expandida (U)		0,0016		0,011					ts= 2,09		1,08%		5,84%		495,00		495,47		1,010833	
														v= 19										

Experimento: Esferas de diferentes diâmetros

Sentido: Horário

Graus de Liberdade (ν): 18

Trecho: S1-S4

Nível de Vazão: Máxima

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER									TURBINA						VAZÃO (l/s)			
		0,48 [kgf/cm²] TEMPERATURA INICIAL [°C] 23,81	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO					VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA	
Horário	B	Medidas (°C)			C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	nº PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]
1	14	24,04	63,70	1,0001	1,00085	1,00085	1,00024	1,00002	0,99908	19,85	19,83	19,83	9730	63,70	9730,77	9730,39	490,18	490,56	0,312	0,305	0,303
2	14	24,13	63,46	1,0001	1,00087	1,00087	1,00024	1,00002	0,99906	19,85	19,83	19,83	9729	63,46	9729,89	9729,42	490,12	490,51	0,313	0,306	0,315
3	14	24,18	63,58	1,0001	1,00088	1,00088	1,00024	1,00002	0,99905	19,85	19,83	19,83	9729	63,58	9729,30	9729,06	490,09	490,49	0,312	0,306	0,265
4	14	24,25	67,45	1,0001	1,00089	1,00089	1,00024	1,00002	0,99903	19,85	19,83	19,83	9738	67,44	9738,92	9738,89	490,56	490,99	0,294	0,289	0,269
5	14	24,29	63,52	1,0001	1,00090	1,00090	1,00024	1,00002	0,99902	19,85	19,83	19,83	9725	63,51	9726,17	9725,77	489,92	490,33	0,313	0,306	0,284
6	14	24,32	63,34	1,0001	1,00091	1,00091	1,00024	1,00002	0,99901	19,85	19,83	19,83	9725	63,33	9725,79	9725,47	489,90	490,31	0,313	0,307	0,326
7	14	24,37	63,29	1,0001	1,00092	1,00092	1,00024	1,00002	0,99900	19,85	19,83	19,83	9724	63,29	9724,51	9724,29	489,83	490,25	0,314	0,307	0,313
8	14	24,39	63,17	1,0001	1,00092	1,00092	1,00024	1,00002	0,99899	19,85	19,83	19,83	9723	63,16	9724,06	9723,98	489,80	490,24	0,314	0,308	0,313
9	14	24,42	63,23	1,0002	1,00093	1,00093	1,00024	1,00002	0,99899	19,85	19,83	19,83	9723	63,23	9723,92	9723,77	489,79	490,23	0,314	0,307	0,365
10	14	24,43	63,24	1,0002	1,00093	1,00093	1,00024	1,00002	0,99898	19,85	19,83	19,83	9721	63,24	9721,68	9721,33	489,68	490,10	0,314	0,307	0,302
11	14	24,44	63,20	1,0002	1,00093	1,00093	1,00024	1,00002	0,99898	19,85	19,83	19,83	9720	63,19	9721,00	9720,54	489,64	490,07	0,314	0,307	0,302
12	14	24,48	63,19	1,0002	1,00094	1,00094	1,00024	1,00002	0,99897	19,85	19,83	19,83	9723	63,18	9723,71	9723,46	489,77	490,21	0,314	0,308	0,300
13	14	24,50	63,07	1,0002	1,00095	1,00095	1,00024	1,00002	0,99896	19,85	19,83	19,83	9723	63,06	9723,36	9723,19	489,75	490,20	0,315	0,308	0,287
14	14	24,55	63,22	1,0002	1,00096	1,00096	1,00024	1,00002	0,99895	19,85	19,83	19,83	9722	63,22	9722,66	9722,55	489,71	490,17	0,314	0,307	0,322
15	14	24,58	63,22	1,0002	1,00096	1,00096	1,00024	1,00002	0,99895	19,85	19,83	19,83	9722	63,21	9722,50	9722,10	489,70	490,14	0,314	0,307	0,294
16	14	24,61	63,11	1,0002	1,00097	1,00097	1,00024	1,00002	0,99894	19,85	19,83	19,83	9720	63,11	9721,40	9720,90	489,64	490,08	0,315	0,308	0,304
17	14	24,63	63,14	1,0002	1,00097	1,00097	1,00024	1,00002	0,99893	19,85	19,83	19,83	9720	63,14	9721,17	9720,84	489,63	490,08	0,314	0,308	0,313
18	14	24,62	63,12	1,0002	1,00097	1,00097	1,00024	1,00002	0,99893	19,85	19,83	19,83	9720	63,11	9720,73	9720,54	489,61	490,07	0,315	0,308	0,318
19	14	24,64	63,08	1,0002	1,00097	1,00097	1,00024	1,00002	0,99893	19,85	19,83	19,83	9721	63,07	9721,26	9721,04	489,63	490,09	0,315	0,308	0,364
20	14	24,66	63,03	1,0002	1,00098	1,00098	1,00024	1,00002	0,99892	19,85	19,83	19,83	9721	63,03	9721,26	9721,05	489,63	490,09	0,315	0,308	0,337
μ			63,26							19,85	19,83	19,83	9723	63,25	9723,95	9723,67	489,79	490,22	0,314	0,307	0,312
s(xi)			0,1853										3	0,1850	3,13	3,11	0,18	0,16	0,0009	0,0008	0,0247
u(xi)			0,0425										1	0,0425	0,72	0,71	0,04	0,04			
RESULTADO																					
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)			Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)				Fatores de Correção					
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0004		0,001		0,314 ± 0,254			95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa		Fator-k Double-Timing	Fator-k Processado	MF	
			Incerteza Expandida (U)		0,0008		0,003					ts= 2,1 v= 18		2,16%		0,64%		489,79	490,22	1,021591	

Experimento: Esferas de diferentes
diâmetros

Sentido: Anti-horário
Trecho: S4-S1

Graus de Liberdade (ν): 19
Nível de Vazão: Máxima

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER										TURBINA							VAZÃO (l/s)				
		0,48 [kgf/cm²]	TEMPO	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA			
Anti-Horário	B	TEMPERATURA INICIAL [°C] 23,81		(seg.)	C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	Vb	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]		
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)																						
1	41	24,09	63,69	1,0001	1,00086	1,00086	1,00024	1,00002	0,99907	19,85	19,83	19,83	9731	63,68	9732,16	9731,62	490,24	490,62	0,312	0,305	0,300			
2	41	24,16	63,51	1,0001	1,00087	1,00087	1,00024	1,00002	0,99905	19,85	19,83	19,83	9729	63,51	9729,62	9729,14	490,11	490,50	0,313	0,306	0,269			
3	41	24,20	63,54	1,0001	1,00088	1,00088	1,00024	1,00002	0,99904	19,85	19,83	19,83	9727	63,53	9728,08	9727,62	490,02	490,42	0,312	0,306	0,308			
4	41	24,27	63,87	1,0001	1,00090	1,00090	1,00024	1,00002	0,99902	19,85	19,83	19,83	9726	63,87	9726,24	9726,05	489,92	490,34	0,311	0,304	0,302			
5	41	24,30	63,95	1,0001	1,00090	1,00090	1,00024	1,00002	0,99902	19,85	19,83	19,83	9725	63,94	9725,49	9725,06	489,88	490,29	0,310	0,304	0,313			
6	41	24,35	63,58	1,0001	1,00091	1,00091	1,00024	1,00002	0,99900	19,85	19,83	19,83	9724	63,57	9725,14	9724,69	489,86	490,27	0,312	0,306	0,308			
7	41	24,36	63,40	1,0001	1,00092	1,00092	1,00024	1,00002	0,99900	19,85	19,83	19,83	9725	63,40	9725,20	9725,05	489,86	490,29	0,313	0,307	0,325			
8	41	24,39	63,41	1,0001	1,00092	1,00092	1,00024	1,00002	0,99899	19,85	19,83	19,83	9724	63,41	9724,51	9724,06	489,82	490,24	0,313	0,306	0,311			
9	41	24,42	63,40	1,0002	1,00093	1,00093	1,00024	1,00002	0,99898	19,85	19,83	19,83	9721	63,40	9722,10	9721,93	489,70	490,14	0,313	0,306	0,310			
10	41	24,43	63,47	1,0002	1,00093	1,00093	1,00024	1,00002	0,99898	19,85	19,83	19,83	9720	63,46	9721,28	9720,95	489,66	490,09	0,313	0,306	0,306			
11	41	24,45	63,41	1,0002	1,00094	1,00094	1,00024	1,00002	0,99898	19,85	19,83	19,83	9722	63,40	9723,13	9722,71	489,75	490,17	0,313	0,306	0,311			
12	41	24,49	63,31	1,0002	1,00094	1,00094	1,00024	1,00002	0,99897	19,85	19,83	19,83	9723	63,31	9723,82	9723,39	489,78	490,21	0,314	0,307	0,333			
13	41	24,51	63,39	1,0002	1,00095	1,00095	1,00024	1,00002	0,99896	19,85	19,83	19,83	9722	63,38	9722,95	9722,86	489,73	490,18	0,313	0,307	0,308			
14	41	24,55	63,45	1,0002	1,00096	1,00096	1,00024	1,00002	0,99895	19,85	19,83	19,83	9722	63,45	9722,26	9722,06	489,69	490,14	0,313	0,306	0,322			
15	41	24,58	63,34	1,0002	1,00096	1,00096	1,00024	1,00002	0,99894	19,85	19,83	19,83	9722	63,34	9722,82	9722,47	489,72	490,16	0,313	0,307	0,304			
16	41	24,61	63,29	1,0002	1,00097	1,00097	1,00024	1,00002	0,99894	19,85	19,83	19,83	9721	63,29	9721,29	9721,05	489,64	490,09	0,314	0,307	0,295			
17	41	24,61	63,24	1,0002	1,00097	1,00097	1,00024	1,00002	0,99894	19,85	19,83	19,83	9720	63,23	9720,74	9720,55	489,61	490,07	0,314	0,307	0,316			
18	41	24,63	63,26	1,0002	1,00097	1,00097	1,00024	1,00002	0,99893	19,85	19,83	19,83	9721	63,26	9721,24	9721,05	489,64	490,09	0,314	0,307	0,307			
19	41	24,64	63,27	1,0002	1,00098	1,00098	1,00024	1,00002	0,99893	19,85	19,83	19,83	9721	63,26	9721,98	9721,69	489,67	490,12	0,314	0,307	0,279			
20	41	24,67	65,93	1,0002	1,00098	1,00098	1,00024	1,00002	0,99892	19,85	19,83	19,83	9726	65,92	9727,14	9726,83	489,93	490,38	0,301	0,295	0,271			
μ			63,59									19,85		19,83	19,83	9724	63,58	9724,36	9724,04	489,81	490,24	0,312	0,306	0,305
s(xi)			0,5835									3		0,5829	3,07	2,99	0,17	0,15	0,0028	0,0027	0,0162			
u(xi)			0,1305									1		0,1303	0,69	0,67	0,04	0,03	0,0006	0,0006	0,0036			

RESULTADO													
Mensurando (l/s)			Absoluta	Relativa	y ± U (%)		Nível de Confiança	Erro sistemático da turbina (%)		Fatores de Correção			
(y)	0,312	Incerteza Combinada (uc)	0,0007	0,002	0,312	±	0,477	95,00	Contagem dos Pulsos	Indicativa	Fator-k	Fator-k	
											Double-Timing	Processado	MF
			Incerteza Expandida (U)	0,0015				0,005	ts= 2,09	2,15%	2,45%	489,81	490,24
							v= 19						

Experimento: Esferas de diferentes
diâmetros

Sentido: Horário
Trecho: S1-S4

Graus de Liberdade (ν): 15
Nível de Vazão: Intermediária

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER										TURBINA						VAZÃO (l/s)					
		0,36 [kgf/cm²]	TEMPO	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA			
		TEMPERATURA INICIAL [°C] 24,82		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO				[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)																						
1	14	24,84	86,31	1,0000	1,00102	1,00102	1,00018	1,00002	0,99888	19,85	19,83	19,83	9760	86,31	9760,33	9760,29	491,70	492,19	0,230	0,226	0,217			
2	14	24,86	86,12	1,0000	1,00102	1,00102	1,00018	1,00002	0,99887	19,85	19,83	19,83	9759	86,11	9760,24	9759,76	491,70	492,17	0,231	0,226	0,211			
3	14	24,89	86,11	1,0000	1,00103	1,00103	1,00018	1,00002	0,99887	19,85	19,83	19,83	9760	86,10	9761,15	9760,69	491,74	492,21	0,231	0,227	0,198			
4	14	24,94	86,23	1,0000	1,00104	1,00104	1,00018	1,00002	0,99885	19,85	19,83	19,83	9760	86,23	9760,81	9760,54	491,72	492,21	0,230	0,226	0,200			
5	14	24,97	86,35	1,0000	1,00104	1,00104	1,00018	1,00002	0,99885	19,85	19,83	19,83	9760	86,34	9760,88	9760,84	491,72	492,22	0,230	0,226	0,243			
6	14	24,99	86,20	1,0000	1,00105	1,00105	1,00018	1,00002	0,99884	19,85	19,83	19,83	9763	86,19	9763,94	9763,91	491,87	492,38	0,230	0,226	0,209			
7	14	25,02	86,10	1,0001	1,00105	1,00105	1,00018	1,00002	0,99883	19,85	19,83	19,83	9763	86,10	9763,26	9763,05	491,83	492,33	0,231	0,227	0,222			
8	14	25,06	86,10	1,0001	1,00106	1,00106	1,00018	1,00002	0,99882	19,85	19,83	19,83	9763	86,09	9763,99	9763,79	491,87	492,37	0,231	0,227	0,206			
9	14	25,10	85,99	1,0001	1,00107	1,00107	1,00018	1,00002	0,99881	19,85	19,83	19,83	9761	85,98	9761,99	9761,72	491,76	492,27	0,231	0,227	0,195			
10	14	25,13	86,44	1,0001	1,00108	1,00108	1,00018	1,00002	0,99880	19,85	19,83	19,83	9764	86,43	9765,03	9764,91	491,91	492,43	0,230	0,226	0,182			
11	14	25,16	86,32	1,0001	1,00108	1,00108	1,00018	1,00002	0,99880	19,85	19,83	19,83	9760	86,32	9761,05	9760,95	491,71	492,23	0,230	0,226	0,213			
12	14	25,20	86,04	1,0001	1,00109	1,00109	1,00018	1,00002	0,99879	19,85	19,83	19,83	9764	86,04	9764,45	9764,15	491,88	492,39	0,231	0,227	0,211			
13	14	25,25	85,92	1,0001	1,00110	1,00110	1,00018	1,00002	0,99877	19,85	19,83	19,83	9764	85,91	9764,76	9764,55	491,89	492,41	0,231	0,227	0,248			
14	14	25,28	86,12	1,0001	1,00111	1,00111	1,00018	1,00002	0,99877	19,85	19,83	19,83	9767	86,11	9767,47	9767,43	492,02	492,55	0,231	0,227	0,235			
15	14	25,29	86,25	1,0001	1,00111	1,00111	1,00018	1,00002	0,99876	19,85	19,83	19,83	9767	86,25	9767,44	9767,05	492,02	492,54	0,230	0,226	0,224			
16	14	25,34	86,02	1,0001	1,00112	1,00112	1,00018	1,00002	0,99875	19,85	19,83	19,83	9766	86,02	9766,52	9766,23	491,96	492,49	0,231	0,227	0,234			
μ			86,17										19,85	19,83	19,83	9763	86,16	9763,33	9763,12	491,83	492,34	0,230	0,226	0,216
s(xi)			0,1440													3	0,1437	2,50	2,51	0,11	0,13	0,0004	0,0004	0,0183
u(xi)			0,0360													1	0,0359	0,63	0,63	0,03	0,03			
RESULTADO																								
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)				Fatores de Correção									
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0002		0,001		95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa		Fator-k		Fator-k		MF					
			Incerteza Expandida (U)		0,0005		0,002		0,230 ± 0,223		ts= 2,13 v= 15		1,75%		6,91%		491,83		492,34		1,017470			

Experimento: Esferas de diferentes diâmetros

Sentido: Anti-horário

Graus de Liberdade (ν): 15

Trecho: S4-S1

Nível de Vazão: Intermediária

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER									TURBINA						VAZÃO (l/s)						
		0,36 [kgf/cm²]	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO					VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA				
		TEMPERATURA INICIAL [°C] 24,82		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	nº PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]			
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)	1	41	24,84	86,39	1,0000	1,00102	1,00102	1,00018	1,00002	0,99888	19,85	19,83	19,83	9760	86,38	9760,78	9760,54	491,73	492,21	0,230	0,226	0,241
		24,85	86,31	1,0000	1,00102	1,00102	1,00018	1,00002	0,99888	19,85	19,83	19,83	9760	86,29	9761,27	9760,92	491,75	492,23	0,230	0,226	0,208			
		24,90	86,37	1,0000	1,00103	1,00103	1,00018	1,00002	0,99886	19,85	19,83	19,83	9761	86,36	9761,58	9761,18	491,76	492,24	0,230	0,226	0,231			
		24,94	89,01	1,0000	1,00104	1,00104	1,00018	1,00002	0,99885	19,85	19,83	19,83	9770	89,01	9770,34	9770,33	492,20	492,70	0,223	0,219	0,200			
		24,97	88,52	1,0000	1,00104	1,00104	1,00018	1,00002	0,99885	19,85	19,83	19,83	9766	88,52	9766,23	9766,10	491,99	492,49	0,224	0,220	0,198			
		24,99	86,60	1,0000	1,00105	1,00105	1,00018	1,00002	0,99884	19,85	19,83	19,83	9762	86,60	9762,32	9762,05	491,79	492,28	0,229	0,225	0,213			
		25,02	86,32	1,0001	1,00105	1,00105	1,00018	1,00002	0,99883	19,85	19,83	19,83	9762	86,31	9762,74	9762,56	491,81	492,31	0,230	0,226	0,213			
		25,07	86,38	1,0001	1,00107	1,00107	1,00018	1,00002	0,99882	19,85	19,83	19,83	9762	86,38	9762,56	9762,29	491,79	492,30	0,230	0,226	0,237			
		25,10	86,45	1,0001	1,00107	1,00107	1,00018	1,00002	0,99881	19,85	19,83	19,83	9763	86,45	9763,57	9763,16	491,84	492,34	0,230	0,226	0,208			
		25,14	86,50	1,0001	1,00108	1,00108	1,00018	1,00002	0,99880	19,85	19,83	19,83	9764	86,50	9764,70	9764,49	491,89	492,41	0,229	0,226	0,210			
		25,15	90,27	1,0001	1,00108	1,00108	1,00018	1,00002	0,99880	19,85	19,83	19,83	9775	90,27	9775,25	9775,23	492,42	492,95	0,220	0,216	0,171			
		25,21	86,13	1,0001	1,00109	1,00109	1,00018	1,00002	0,99879	19,85	19,83	19,83	9764	86,12	9765,28	9764,92	491,92	492,43	0,231	0,227	0,168			
		25,25	86,10	1,0001	1,00110	1,00110	1,00018	1,00002	0,99877	19,85	19,83	19,83	9764	86,10	9764,66	9764,30	491,88	492,40	0,231	0,227	0,226			
		25,28	86,24	1,0001	1,00111	1,00111	1,00018	1,00002	0,99876	19,85	19,83	19,83	9767	86,23	9767,89	9767,54	492,04	492,56	0,230	0,226	0,252			
		25,28	86,23	1,0001	1,00111	1,00111	1,00018	1,00002	0,99876	19,85	19,83	19,83	9764	86,22	9765,02	9764,54	491,90	492,41	0,230	0,226	0,217			
		25,34	90,04	1,0001	1,00112	1,00112	1,00018	1,00002	0,99875	19,85	19,83	19,83	9776	90,03	9776,79	9776,63	492,48	493,02	0,220	0,217	0,184			
μ			87,12									19,85	19,83	19,83	9765	87,11	9765,69	9765,42	491,95	492,45	0,228	0,224	0,211	
s(xi)			1,4526									5		1,4540	4,75	4,83	0,23	0,24	0,0037	0,0036	0,0239			
u(xi)			0,3632									1		0,3635	1,19	1,21	0,06	0,06	0,0009	0,0009	0,0060			
RESULTADO																								
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)						Fatores de Correção							
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0010		0,004		0,228 ± 0,911		95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa		Fator-k Double-Timing		Fator-k Processado		MF			
			Incerteza Expandida (U)		0,0021		0,009				ts= 2,13 v= 15		1,72%		8,01%		491,95		492,45		1,017231			

Experimento: Esferas de diferentes
diâmetros

Sentido: Horário
Trecho: S1-S4

Graus de Liberdade (ν): 18
Nível de Vazão: Mínima

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER										TURBINA						VAZÃO (l/s)			
		0,32 [kgf/cm²]	TEMPO	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA	
		TEMPERATURA INICIAL [°C] 25,45		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO				[=V _M /t]
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)																				
1	14	25,61	138,98	1,0000	1,00118	1,00118	1,00016	1,00001	0,99868	19,85	19,83	19,82	9840	138,96	9841,40	9840,92	495,79	496,34	0,143	0,142	0,179	
2	14	25,83	137,09	1,0001	1,00123	1,00123	1,00016	1,00001	0,99862	19,85	19,82	19,82	9840	137,08	9840,44	9840,41	495,72	496,32	0,145	0,143	0,131	
3	14	25,93	136,50	1,0001	1,00124	1,00124	1,00016	1,00001	0,99860	19,85	19,82	19,82	9839	136,48	9840,25	9839,81	495,70	496,29	0,145	0,144	0,143	
4	14	25,96	136,15	1,0001	1,00125	1,00125	1,00016	1,00001	0,99859	19,85	19,82	19,82	9842	136,14	9842,68	9842,43	495,82	496,42	0,146	0,144	0,133	
5	14	26,00	135,77	1,0001	1,00126	1,00126	1,00016	1,00001	0,99858	19,85	19,82	19,82	9840	135,76	9840,89	9840,55	495,72	496,32	0,146	0,145	0,135	
6	14	26,04	135,16	1,0002	1,00127	1,00127	1,00016	1,00001	0,99856	19,85	19,82	19,82	9841	135,16	9841,49	9841,37	495,75	496,36	0,147	0,146	0,141	
7	14	26,08	136,08	1,0002	1,00128	1,00128	1,00016	1,00001	0,99856	19,85	19,82	19,82	9845	136,08	9845,29	9845,11	495,94	496,55	0,146	0,145	0,139	
8	14	26,09	135,09	1,0002	1,00128	1,00128	1,00016	1,00001	0,99855	19,85	19,82	19,82	9842	135,08	9842,58	9842,43	495,80	496,42	0,147	0,146	0,124	
9	14	26,16	135,55	1,0002	1,00129	1,00129	1,00016	1,00001	0,99853	19,85	19,82	19,82	9845	135,54	9845,68	9845,36	495,95	496,57	0,146	0,145	0,127	
10	14	26,15	135,32	1,0002	1,00129	1,00129	1,00016	1,00001	0,99854	19,85	19,82	19,82	9847	135,31	9847,43	9847,13	496,04	496,65	0,147	0,145	0,153	
11	14	26,20	135,97	1,0002	1,00130	1,00130	1,00016	1,00001	0,99852	19,85	19,82	19,82	9848	135,96	9848,78	9848,54	496,10	496,73	0,146	0,145	0,149	
12	14	26,20	136,75	1,0002	1,00130	1,00130	1,00016	1,00001	0,99852	19,85	19,82	19,82	9850	136,74	9850,83	9850,54	496,20	496,83	0,145	0,144	0,120	
13	14	26,20	136,07	1,0002	1,00130	1,00130	1,00016	1,00001	0,99852	19,85	19,82	19,82	9851	136,06	9851,73	9851,39	496,25	496,87	0,146	0,145	0,135	
14	14	26,25	144,53	1,0002	1,00131	1,00131	1,00016	1,00001	0,99851	19,85	19,82	19,82	9879	144,52	9879,45	9879,24	497,64	498,27	0,137	0,137	0,109	
15	14	26,26	136,69	1,0002	1,00132	1,00132	1,00016	1,00001	0,99851	19,85	19,82	19,82	9854	136,69	9854,31	9854,34	496,37	497,02	0,145	0,144	0,125	
16	14	26,28	136,56	1,0002	1,00132	1,00132	1,00016	1,00001	0,99850	19,85	19,82	19,82	9856	136,56	9856,31	9856,08	496,47	497,11	0,145	0,144	0,136	
17	14	26,31	135,59	1,0002	1,00132	1,00132	1,00016	1,00001	0,99849	19,85	19,82	19,82	9851	135,57	9852,07	9851,79	496,25	496,89	0,146	0,145	0,131	
18	14	26,31	135,83	1,0002	1,00132	1,00132	1,00016	1,00001	0,99849	19,85	19,82	19,82	9853	135,83	9853,42	9853,26	496,32	496,96	0,146	0,145	0,127	
19	14	26,34	135,77	1,0002	1,00133	1,00133	1,00016	1,00001	0,99849	19,85	19,82	19,82	9853	135,77	9853,33	9853,23	496,31	496,96	0,146	0,145	0,140	
20	14	26,34	135,90	1,0002	1,00133	1,00133	1,00016	1,00001	0,99848	19,85	19,82	19,82	9852	135,89	9852,79	9852,44	496,29	496,92	0,146	0,145	0,154	
μ			136,15							19,85	19,82	19,82	9847	136,14	9847,46	9847,22	496,04	496,66	0,146	0,145	0,138	
s(xi)			0,8769										6	0,8749	5,51	5,55	0,26	0,28	0,0009	0,0009	0,0136	
u(xi)			0,2012										1	0,2007	1,27	1,27	0,06	0,06				

RESULTADO														
Mensurando (l/s)			Absoluta	Relativa	y ± U (%)		Nível de Confiança	Erro sistemático da turbina (%)		Fatores de Correção				
(y)	0,146	Incerteza Combinada (uc)	0,0003	0,002	0,146	±	0,369	95,00	Contagem dos Pulsos	Indicativa	Fator-k	Fator-k	MF	
		Incerteza Expandida (U)	0,0005	0,004				ts= 2,1	0,88%	5,47%	Double-Timing	Processado		
							v= 18				496,04	496,66	1,008777	

Experimento: Esferas de diferentes diâmetros **Sentido:** Anti-horário **Graus de Liberdade (ν):** 19
Trecho: S4-S1 **Nível de Vazão:** Mínima

SENTIDO		ESFERA	PRESSÃO 0,32 [kgf/cm²]	PIPE PROVER									TURBINA						VAZÃO (l/s)				
Anti-Horário		B	TEMPERATURA INICIAL [°C] 25,45	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO					VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA		
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)	C _{idw}		C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]		
1	41	25,73	138,43	1,0001	1,00120	1,00120	1,00016	1,00001	0,99865	19,85	19,83	19,82	9841	138,41	9842,19	9841,84	495,82	496,39	0,143	0,142	0,128		
2	41	25,86	137,60	1,0001	1,00123	1,00123	1,00016	1,00001	0,99861	19,85	19,82	19,82	9840	137,59	9841,11	9840,66	495,75	496,33	0,144	0,143	0,133		
3	41	25,93	137,07	1,0001	1,00125	1,00125	1,00016	1,00001	0,99860	19,85	19,82	19,82	9841	137,07	9841,34	9841,18	495,75	496,35	0,145	0,143	0,164		
4	41	25,95	135,69	1,0001	1,00125	1,00125	1,00016	1,00001	0,99859	19,85	19,82	19,82	9839	135,67	9840,05	9839,77	495,69	496,28	0,146	0,145	0,156		
5	41	26,01	136,11	1,0001	1,00126	1,00126	1,00016	1,00001	0,99858	19,85	19,82	19,82	9842	136,10	9842,33	9842,14	495,79	496,40	0,146	0,145	0,134		
6	41	26,06	136,47	1,0002	1,00127	1,00127	1,00016	1,00001	0,99856	19,85	19,82	19,82	9843	136,46	9844,12	9843,69	495,88	496,48	0,145	0,144	0,156		
7	41	26,08	135,44	1,0002	1,00128	1,00128	1,00016	1,00001	0,99856	19,85	19,82	19,82	9844	135,42	9844,85	9844,90	495,91	496,54	0,147	0,145	0,140		
8	41	26,12	143,02	1,0002	1,00129	1,00129	1,00016	1,00001	0,99854	19,85	19,82	19,82	9868	143,01	9868,96	9868,94	497,12	497,75	0,139	0,138	0,144		
9	41	26,14	135,87	1,0002	1,00129	1,00129	1,00016	1,00001	0,99854	19,85	19,82	19,82	9846	135,87	9846,41	9846,08	495,99	496,60	0,146	0,145	0,138		
10	41	26,17	141,11	1,0002	1,00130	1,00130	1,00016	1,00001	0,99853	19,85	19,82	19,82	9867	141,10	9867,76	9867,75	497,06	497,69	0,141	0,140	0,146		
11	41	26,19	137,20	1,0002	1,00130	1,00130	1,00016	1,00001	0,99852	19,85	19,82	19,82	9849	137,19	9850,00	9849,54	496,16	496,78	0,145	0,143	0,134		
12	41	26,21	136,90	1,0002	1,00130	1,00130	1,00016	1,00001	0,99852	19,85	19,82	19,82	9849	136,88	9850,02	9849,72	496,16	496,79	0,145	0,144	0,120		
13	41	26,22	136,35	1,0002	1,00131	1,00131	1,00016	1,00001	0,99852	19,85	19,82	19,82	9850	136,34	9850,44	9850,25	496,18	496,81	0,146	0,144	0,121		
14	41	26,26	141,12	1,0002	1,00132	1,00132	1,00016	1,00001	0,99851	19,85	19,82	19,82	9870	141,10	9871,27	9870,91	497,23	497,85	0,141	0,140	0,133		
15	41	26,28	143,37	1,0002	1,00132	1,00132	1,00016	1,00001	0,99850	19,85	19,82	19,82	9885	143,36	9885,70	9885,51	497,95	498,59	0,138	0,138	0,122		
16	41	26,29	137,43	1,0002	1,00132	1,00132	1,00016	1,00001	0,99850	19,85	19,82	19,82	9855	137,43	9855,57	9855,03	496,43	497,05	0,144	0,143	0,141		
17	41	26,32	140,11	1,0002	1,00133	1,00133	1,00016	1,00001	0,99849	19,85	19,82	19,82	9866	140,10	9866,96	9866,58	497,00	497,64	0,142	0,141	0,148		
18	41	26,33	136,10	1,0002	1,00133	1,00133	1,00016	1,00001	0,99849	19,85	19,82	19,82	9854	136,10	9854,28	9854,25	496,36	497,01	0,146	0,145	0,131		
19	41	26,36	139,15	1,0002	1,00134	1,00134	1,00016	1,00001	0,99848	19,85	19,82	19,82	9860	139,14	9860,74	9860,51	496,68	497,33	0,143	0,142	0,146		
20	41	26,37	136,21	1,0002	1,00134	1,00134	1,00016	1,00001	0,99848	19,85	19,82	19,82	9855	136,20	9855,61	9855,36	496,43	497,07	0,146	0,145	0,139		
μ				138,04						19,85	19,82	19,82	9853	138,03	9853,99	9853,73	496,37	496,99	0,144	0,143	0,139		
s(xi)				2,4546									13	2,4531	12,60	12,63	0,62	0,64	0,0025	0,0023	0,0119		
u(xi)				0,5489									3	0,5485	2,82	2,82	0,14	0,14	0,0006	0,0005	0,0027		
RESULTADO																							
Mensurando (l/s)				Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)						Fatores de Correção					
(y)				0,144		Incerteza Combinada (uc)		0,0006		0,004		95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa		Fator-k		Fator-k		MF	
								0,144 ± 0,854		ts= 2,09		0,81%		3,51%		Double-Timing		Processado					
						Incerteza Expandida (U)		0,0012		0,009		v= 19						496,37		496,99		1,008128	

Experimento: Pressão Controlada

Sentido: Horário

Graus de Liberdade (ν): 9

Trecho: S1-S4

Nível de Vazão: Máxima

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER										TURBINA						VAZÃO (l/s)		
		0,5 [kgf/cm²]	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA
Horário	5	TEMPERATURA INICIAL [°C] 24,06		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	nº PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	nº PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]
1	14	24,11	71,37	1,0000	1,00086	1,00086	1,00025	1,00002	0,99906	19,85	19,83	19,83	9732	71,37	9732,09	9732,05	490,27	490,68	0,278	0,273	0,245
2	14	24,12	71,51	1,0000	1,00086	1,00086	1,00025	1,00002	0,99906	19,85	19,83	19,83	9739	71,50	9739,96	9739,72	490,66	491,06	0,278	0,272	0,223
3	14	24,17	71,35	1,0000	1,00088	1,00088	1,00025	1,00002	0,99905	19,85	19,83	19,83	9716	71,34	9716,87	9716,93	489,49	489,91	0,278	0,272	0,248
4	14	24,19	71,81	1,0000	1,00088	1,00088	1,00025	1,00002	0,99904	19,85	19,83	19,83	9779	71,80	9780,20	9779,74	492,68	493,08	0,276	0,272	0,255
5	14	24,23	71,36	1,0000	1,00089	1,00089	1,00025	1,00002	0,99903	19,85	19,83	19,83	9710	71,36	9710,29	9710,05	489,16	489,57	0,278	0,272	0,257
6	14	24,27	71,49	1,0001	1,00090	1,00090	1,00025	1,00002	0,99902	19,85	19,83	19,83	9725	71,48	9725,98	9725,68	489,94	490,35	0,278	0,272	0,233
7	14	24,30	71,70	1,0001	1,00090	1,00090	1,00025	1,00002	0,99901	19,85	19,83	19,83	9747	71,69	9747,36	9747,33	491,01	491,45	0,277	0,272	0,249
8	14	24,34	71,53	1,0001	1,00091	1,00091	1,00025	1,00002	0,99901	19,85	19,83	19,83	9731	71,53	9731,45	9731,04	490,21	490,63	0,278	0,272	0,259
9	14	24,39	71,68	1,0001	1,00092	1,00092	1,00025	1,00002	0,99899	19,85	19,83	19,83	9756	71,68	9756,39	9756,35	491,46	491,90	0,277	0,272	0,255
10	14	24,40	71,51	1,0001	1,00092	1,00092	1,00025	1,00002	0,99899	19,85	19,83	19,83	9750	71,51	9750,32	9750,05	491,15	491,58	0,278	0,272	0,236
μ			71,53							19,85	19,83	19,83	9739	71,53	9739,09	9738,89	490,60	491,02	0,278	0,272	0,246
s(x _i)			0,1563										20	0,1555	20,51	20,46	1,03	1,03	0,0006	0,0003	0,0120
u(x _i)			0,0494										6	0,0492	6,49	6,47	0,33	0,33			
RESULTADO																					
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)				Fatores de Correção						
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0003		0,001		95,00		Contagem dos Pulsos				Indicativa		Fator-k		Fator-k		MF
			Incerteza Expandida (U)		0,0008		0,003		0,278 ± 0,277		ts= 2,26				2,00%		12,71%		Double-Timing		Processado
									v= 9								490,60		491,02		1,020006

Experimento: Pressão Controlada Sentido: Anti-horário Graus de Liberdade (ν): 9
Trecho: S4-S1 Nível de Vazão: Máxima

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER										TURBINA						VAZÃO (l/s)		
		0,5 [kgf/cm²]	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA
Anti-Horário	5	TEMPERATURA INICIAL [°C] 24,06		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)	71,60	1,0000	1,00086	1,00086	1,00025	1,00002	0,99907	19,85	19,83	19,83	9720	71,60	9720,08	9720,05	489,66	490,07	0,277	0,271	0,245
1	41	24,09	71,60	1,0000	1,00086	1,00086	1,00025	1,00002	0,99907	19,85	19,83	19,83	9720	71,60	9720,08	9720,05	489,66	490,07	0,277	0,271	0,245
2	41	24,11	71,78	1,0000	1,00086	1,00086	1,00025	1,00002	0,99906	19,85	19,83	19,83	9759	71,78	9759,96	9759,73	491,67	492,07	0,277	0,272	0,276
3	41	24,15	71,76	1,0000	1,00087	1,00087	1,00025	1,00002	0,99905	19,85	19,83	19,83	9747	71,75	9748,01	9747,73	491,06	491,47	0,277	0,271	0,254
4	41	24,18	72,07	1,0000	1,00088	1,00088	1,00025	1,00002	0,99904	19,85	19,83	19,83	9775	72,06	9775,54	9775,55	492,45	492,87	0,275	0,271	0,248
5	41	24,22	71,87	1,0000	1,00089	1,00089	1,00025	1,00002	0,99904	19,85	19,83	19,83	9743	71,86	9743,52	9743,06	490,83	491,23	0,276	0,271	0,255
6	41	24,25	71,61	1,0000	1,00089	1,00089	1,00025	1,00002	0,99903	19,85	19,83	19,83	9706	71,61	9706,56	9706,14	488,97	489,37	0,277	0,271	0,252
7	41	24,29	72,03	1,0001	1,00090	1,00090	1,00025	1,00002	0,99902	19,85	19,83	19,83	9773	72,03	9773,73	9773,69	492,34	492,78	0,276	0,271	0,248
8	41	24,34	71,90	1,0001	1,00091	1,00091	1,00025	1,00002	0,99901	19,85	19,83	19,83	9762	71,89	9763,13	9762,77	491,81	492,22	0,276	0,271	0,244
9	41	24,37	71,53	1,0001	1,00092	1,00092	1,00025	1,00002	0,99900	19,85	19,83	19,83	9716	71,53	9716,50	9716,10	489,45	489,87	0,278	0,271	0,231
10	41	24,40	71,93	1,0001	1,00092	1,00092	1,00025	1,00002	0,99899	19,85	19,83	19,83	9767	71,93	9768,09	9767,81	492,05	492,48	0,276	0,271	0,259
μ			71,81							19,85	19,83	19,83	9747	71,80	9747,51	9747,26	491,03	491,44	0,276	0,271	0,251
s(x _i)			0,1850										25	0,1840	25,17	25,25	1,27	1,27	0,0007	0,0003	0,0117
u(x _i)			0,0585										8	0,0582	7,96	7,98	0,40	0,40	0,0002	0,0001	0,0037
RESULTADO																					
Mensurando (l/s)					Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)				Fatores de Correção				
(y)			0,276		Incerteza Combinada (uc)		0,0004		0,001		95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa		Fator-k		Fator-k		MF
					Incerteza Expandida (U)		0,0008		0,003		0,276 ± 0,293		ts= 2,26		1,91%		9,93%		Double-Timing		Processado
											v= 9						491,03		491,44		1,019127

Experimento: Pressão Controlada

Sentido: Horário

Graus de Liberdade (ν): 9

Trecho: S1-S4

Nível de Vazão: Intermediária

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER										TURBINA						VAZÃO (l/s)						
		0,5 [kgf/cm²]	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA				
Horário	5	TEMPERATURA INICIAL [°C] 23,60		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	nº PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]				
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)	102,19	1,0000	1,00077	1,00077	1,00025	1,00002	0,99918	19,85	19,84	19,83	9811	102,18	9811,48	9811,18	494,26	494,61	0,194	0,192	0,169				
1	14	23,64	101,82	1,0000	1,00078	1,00078	1,00025	1,00002	0,99917	19,85	19,84	19,83	9782	101,81	9782,57	9782,09	492,80	493,14	0,195	0,192	0,154				
2	14	23,69	101,76	1,0000	1,00079	1,00079	1,00025	1,00002	0,99915	19,85	19,84	19,83	9784	101,75	9785,15	9784,76	492,92	493,28	0,195	0,192	0,164				
3	14	23,74	102,08	1,0000	1,00079	1,00079	1,00025	1,00002	0,99914	19,85	19,84	19,83	9802	102,07	9802,28	9802,07	493,78	494,15	0,194	0,192	0,166				
4	14	23,78	102,97	1,0001	1,00081	1,00081	1,00025	1,00002	0,99913	19,85	19,84	19,83	9886	102,96	9887,15	9886,85	498,05	498,42	0,193	0,192	0,151				
5	14	23,85	102,77	1,0001	1,00082	1,00082	1,00025	1,00002	0,99912	19,85	19,83	19,83	9860	102,76	9860,57	9860,56	496,70	497,10	0,193	0,192	0,199				
6	14	23,89	101,72	1,0001	1,00083	1,00083	1,00025	1,00002	0,99910	19,85	19,83	19,83	9781	101,71	9781,68	9781,27	492,73	493,10	0,195	0,192	0,174				
7	14	23,95	102,50	1,0001	1,00084	1,00084	1,00025	1,00002	0,99909	19,85	19,83	19,83	9824	102,50	9824,23	9824,18	494,86	495,27	0,194	0,192	0,174				
8	14	24,02	102,21	1,0001	1,00085	1,00085	1,00025	1,00002	0,99908	19,85	19,83	19,83	9818	102,21	9818,49	9818,06	494,57	494,96	0,194	0,192	0,164				
9	14	24,05	102,19	1,0001	1,00086	1,00086	1,00025	1,00002	0,99906	19,85	19,83	19,83	9817	102,18	9817,97	9817,56	494,54	494,93	0,194	0,192	0,171				
10	14	24,11										19,85	19,83	19,83	9817	102,21	9817,16	9816,86	494,52	494,90	0,194	0,192	0,168		
μ												19,85	19,83	19,83	9817	102,21	9817,16	9816,86	494,52	494,90	0,194	0,192	0,168		
s(x _i)															34	0,4208	34,27	34,35	1,72	1,73	0,0008	0,0002	0,0131		
u(x _i)															11	0,1331	10,84	10,86	0,54	0,55					
RESULTADO																									
Mensurando (l/s)					Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)				Fatores de Correção								
(y)			0,194		Incerteza Combinada (uc)		0,0003		0,002		95,00		Contagem dos Pulsos				Indicativa		Fator-k		Fator-k		MF		
					Incerteza Expandida (U)		0,0007		0,004		0,194 ± 0,373		ts= 2,26				1,19%		15,27%		Double-Timing		Processado		
													v= 9								494,52		494,90		1,011904

Experimento: Pressão Controlada

Sentido: Anti-horário

Graus de Liberdade (ν): 9

Trecho: S4-S1

Nível de Vazão:

Intermediária

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER									TURBINA						VAZÃO (l/s)			
		0,5 [kgf/cm²]	TEMPO	FATORES DE CORREÇÃO					VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA	
Anti-Horário	5	TEMPERATURA INICIAL [°C]		(seg.)	C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)																			
1	41	23,63	102,32	1,0000	1,00076	1,00076	1,00025	1,00002	0,99918	19,85	19,84	19,83	9809	102,31	9810,00	9809,95	494,18	494,55	0,194	0,192	0,164
2	41	23,68	103,13	1,0000	1,00077	1,00077	1,00025	1,00002	0,99917	19,85	19,84	19,83	9883	103,13	9883,18	9883,16	497,87	498,24	0,192	0,192	0,159
3	41	23,73	103,37	1,0000	1,00078	1,00078	1,00025	1,00002	0,99916	19,85	19,84	19,83	9889	103,37	9889,60	9889,38	498,18	498,55	0,192	0,191	0,169
4	41	23,77	103,32	1,0000	1,00079	1,00079	1,00025	1,00002	0,99915	19,85	19,84	19,83	9888	103,31	9889,18	9888,71	498,16	498,52	0,192	0,191	0,176
5	41	23,84	102,44	1,0001	1,00081	1,00081	1,00025	1,00002	0,99913	19,85	19,84	19,83	9817	102,43	9817,97	9817,96	494,56	494,95	0,194	0,192	0,168
6	41	23,88	102,71	1,0001	1,00081	1,00081	1,00025	1,00002	0,99912	19,85	19,83	19,83	9846	102,71	9846,58	9846,29	496,00	496,38	0,193	0,192	0,176
7	41	23,96	102,45	1,0001	1,00083	1,00083	1,00025	1,00002	0,99910	19,85	19,83	19,83	9828	102,45	9828,63	9828,31	495,09	495,47	0,194	0,192	0,185
8	41	23,99	102,50	1,0001	1,00084	1,00084	1,00025	1,00002	0,99909	19,85	19,83	19,83	9813	102,50	9813,91	9813,64	494,34	494,73	0,194	0,191	0,187
9	41	24,04	102,28	1,0001	1,00085	1,00085	1,00025	1,00002	0,99908	19,85	19,83	19,83	9807	102,27	9808,00	9807,63	494,04	494,43	0,194	0,192	0,156
10	41	24,08	103,04	1,0001	1,00086	1,00086	1,00025	1,00002	0,99907	19,85	19,83	19,83	9841	103,03	9842,23	9841,73	495,76	496,15	0,193	0,191	0,173
μ			102,76							19,85	19,83	19,83	9842	102,75	9842,93	9842,68	495,82	496,20	0,193	0,191	0,171
s(x _i)			0,4211										33	0,4218	33,21	33,19	1,68	1,67	0,0008	0,0003	0,0102
u(x _i)			0,1332										11	0,1334	10,50	10,49	0,53	0,53	0,0003	0,0001	0,0032
RESULTADO																					
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)						Fatores de Correção				
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0003		0,002		95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa				Fator-k	Fator-k	MF		
			Incerteza Expandida (U)		0,0007		0,004		0,193 ± 0,372		ts= 2,26 v= 9		0,93%		12,97%				Double-Timing	Processado	
																			495,82	496,20	1,009254

Experimento: Pressão Controlada Sentido: Horário Graus de Liberdade (ν): 8
Trecho: S1-S4 Nível de Vazão: Mínima

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER										TURBINA						VAZÃO (l/s)			
		0,5 [kgf/cm²]	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA	
Horário	5	TEMPERATURA INICIAL [°C] 22,67		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]	
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]	
1	14	22,87	159,22	1,0000	1,00060	1,00060	1,00025	1,00002	0,99936	19,85	19,84	19,84	9960	159,21	9960,75	9960,58	501,75	502,03	0,125	0,125	0,118	
2	14	23,07	158,10	1,0001	1,00064	1,00064	1,00025	1,00002	0,99932	19,85	19,84	19,84	9898	158,09	9898,90	9898,58	498,61	498,91	0,126	0,125	0,128	
3	14	23,17	157,57	1,0001	1,00067	1,00067	1,00025	1,00002	0,99929	19,85	19,84	19,84	9863	157,55	9864,03	9863,75	496,84	497,15	0,126	0,125	0,107	
4	14	23,24	157,58	1,0001	1,00068	1,00068	1,00025	1,00002	0,99927	19,85	19,84	19,84	9843	157,58	9843,53	9843,26	495,80	496,12	0,126	0,125	0,112	
5	14	23,31	158,34	1,0002	1,00070	1,00070	1,00025	1,00002	0,99926	19,85	19,84	19,84	9885	158,32	9885,80	9885,54	497,93	498,25	0,125	0,125	0,098	
6	14	23,39	158,30	1,0002	1,00071	1,00071	1,00025	1,00002	0,99924	19,85	19,84	19,84	9866	158,30	9866,43	9866,09	496,94	497,27	0,125	0,125	0,103	
7	14	23,48	161,67	1,0002	1,00073	1,00073	1,00025	1,00002	0,99922	19,85	19,84	19,84	10068	161,66	10068,73	10068,74	507,12	507,48	0,123	0,124	0,109	
8	14	23,54	159,75	1,0002	1,00074	1,00074	1,00025	1,00002	0,99920	19,85	19,84	19,84	9839	159,74	9839,54	9839,08	495,57	495,91	0,124	0,123	0,109	
9	14	23,61	162,53	1,0002	1,00076	1,00076	1,00025	1,00002	0,99919	19,85	19,84	19,84	9835	162,52	9835,41	9835,19	495,36	495,71	0,122	0,121	0,108	
10	14	23,67	164,58	1,0002	1,00077	1,00077	1,00025	1,00002	0,99917	19,85	19,84	19,84	9939	164,56	9940,14	9939,64	500,62	500,97	0,121	0,121	0,091	
μ			159,23							19,85	19,84	19,84	9895	159,22	9895,90	9895,65	498,44	498,76	0,125	0,124	0,110	
s(x _i)			1,7859										75	1,7873	75,54	75,65	3,81	3,81	0,0014	0,0014	0,0088	
u(x _i)			0,5953										25	0,5958	25,18	25,22	1,27	1,27				
RESULTADO																						
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)						Fatores de Correção					
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0005		0,004		95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa				Fator-k	Fator-k	MF			
									0,125 ± 0,895		ts= 2,31		0,39%				12,93%					
			Incerteza Expandida (U)		0,0011		0,009				v= 8						498,44		498,76		1,003865	

Experimento: Pressão Controlada

Sentido: Anti-horário

Graus de Liberdade (ν): 9

Trecho: S4-S1

Nível de Vazão:

Mínima

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER									TURBINA						VAZÃO (l/s)				
		0,5 [kgf/cm²]	TEMPO	FATORES DE CORREÇÃO					VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA		
Anti-Horário	5	TEMPERATURA INICIAL [°C] 22,67		(seg.)	C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	Vb	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)																				
1	41	22,99	159,41	1,0001	1,00063	1,00063	1,00025	1,00002	0,99933	19,85	19,84	19,84	9939	159,40	9940,05	9939,94	500,69	500,99	0,125	0,125	0,106	
2	41	23,12	157,77	1,0001	1,00065	1,00065	1,00025	1,00002	0,99930	19,85	19,84	19,84	9833	157,75	9834,23	9833,87	495,35	495,64	0,126	0,125	0,115	
3	41	23,19	157,07	1,0001	1,00067	1,00067	1,00025	1,00002	0,99929	19,85	19,84	19,84	9798	157,07	9798,45	9798,23	493,54	493,85	0,126	0,125	0,110	
4	41	23,26	157,84	1,0001	1,00068	1,00068	1,00025	1,00002	0,99927	19,85	19,84	19,84	9836	157,82	9836,83	9836,72	495,46	495,79	0,126	0,125	0,106	
5	41	23,31	158,21	1,0002	1,00070	1,00070	1,00025	1,00002	0,99926	19,85	19,84	19,84	9854	158,19	9854,92	9854,63	496,37	496,69	0,125	0,124	0,109	
6	41	23,39	159,08	1,0002	1,00071	1,00071	1,00025	1,00002	0,99924	19,85	19,84	19,84	9899	159,06	9900,27	9899,93	498,65	498,97	0,125	0,124	0,107	
7	41	23,47	159,45	1,0002	1,00073	1,00073	1,00025	1,00002	0,99922	19,85	19,84	19,84	9877	159,44	9877,99	9877,68	497,52	497,85	0,125	0,124	0,113	
8	41	23,53	163,80	1,0002	1,00074	1,00074	1,00025	1,00002	0,99921	19,85	19,84	19,84	9854	163,79	9854,40	9854,14	496,32	496,67	0,121	0,120	0,139	
9	41	23,60	165,41	1,0002	1,00076	1,00076	1,00025	1,00002	0,99919	19,85	19,84	19,84	9988	165,40	9988,57	9988,34	503,07	503,43	0,120	0,121	0,106	
10	41	23,66	162,81	1,0002	1,00077	1,00077	1,00025	1,00002	0,99917	19,85	19,84	19,84	9826	162,81	9826,34	9826,20	494,89	495,26	0,122	0,121	0,105	
μ			160,09							19,85	19,84	19,84	9870	160,07	9871,20	9870,97	497,19	497,51	0,124	0,123	0,112	
s(x _i)			2,8768										57	2,8797	57,55	57,55	2,90	2,90	0,0022	0,0019	0,0103	
u(x _i)			0,9097										18	0,9107	18,20	18,20	0,92	0,92	0,0007	0,0006	0,0033	
RESULTADO																						
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)						Fatores de Correção					
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0007		0,006		95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa				Fator-k	Fator-k	MF			
			Incerteza Expandida (U)		0,0016		0,013		0,124 ± 1,305		ts= 2,26 v= 9		0,64%		10,97%				Double-Timing	Processado		
																			497,19	497,51	1,006399	

Experimento: Pressão Controlada

Sentido: Horário

Graus de Liberdade (ν): 8

Trecho: S1-S4

Nível de Vazão: Máxima

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER										TURBINA								VAZÃO (l/s)		
		0,75 [kgf/cm²]	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA		
Horário	5	TEMPERATURA INICIAL [°C] 25,29		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	nº PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]		
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	nº PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]		
1	14	25,28	81,89	1,0000	1,00111	1,00111	1,00038	1,00003	0,99877	19,85	19,83	19,82	9807	81,88	9807,50	9807,20	494,10	494,62	0,242	0,239	0,222		
2	14	25,29	82,23	1,0000	1,00111	1,00111	1,00038	1,00003	0,99876	19,85	19,83	19,82	9833	82,22	9834,07	9833,71	495,44	495,96	0,241	0,239	0,222		
3	14	25,25	81,75	1,0000	1,00110	1,00110	1,00038	1,00003	0,99877	19,85	19,83	19,82	9812	81,74	9812,89	9812,87	494,38	494,91	0,243	0,240	0,228		
4	14	25,26	81,99	1,0000	1,00110	1,00110	1,00038	1,00003	0,99877	19,85	19,83	19,82	9842	81,98	9842,47	9842,21	495,87	496,39	0,242	0,240	0,229		
5	14	25,25	82,46	1,0000	1,00110	1,00110	1,00038	1,00003	0,99877	19,85	19,83	19,82	9894	82,45	9894,34	9894,15	498,48	499,01	0,241	0,240	0,245		
6	14	25,27	81,72	1,0000	1,00111	1,00111	1,00038	1,00003	0,99877	19,85	19,83	19,82	9818	81,72	9818,44	9818,04	494,66	495,17	0,243	0,240	0,216		
7	14	25,26	82,03	1,0000	1,00110	1,00110	1,00038	1,00003	0,99877	19,85	19,83	19,82	9833	82,02	9833,51	9833,47	495,42	495,94	0,242	0,240	0,218		
8	14	25,27	81,96	1,0000	1,00111	1,00111	1,00038	1,00003	0,99877	19,85	19,83	19,82	9831	81,96	9831,62	9831,35	495,32	495,84	0,242	0,240	0,212		
9	14	25,27	81,98	1,0000	1,00111	1,00111	1,00038	1,00003	0,99877	19,85	19,83	19,82	9823	81,98	9823,44	9823,05	494,91	495,42	0,242	0,239	0,229		
10	14	25,27	81,66	1,0000	1,00111	1,00111	1,00038	1,00003	0,99877	19,85	19,83	19,82	9793	81,66	9793,40	9793,19	493,39	493,91	0,243	0,240	0,227		
μ			81,91							19,85	19,83	19,82	9821	81,91	9821,93	9821,68	494,83	495,35	0,242	0,240	0,223		
s(x _i)			0,1772										15	0,1763	15,47	15,46	0,78	0,78	0,0005	0,0003	0,0062		
u(x _i)			0,0591										5	0,0588	5,16	5,15	0,26	0,26					
RESULTADO																							
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)						Fatores de Correção						
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0003		0,001		95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa				Fator-k	Fator-k	MF				
			Incerteza Expandida (U)		0,0008		0,003		0,242 ± 0,310		ts= 2,31 v= 8		1,14%		8,87%				Double-Timing	Processado			
																			494,83	495,35	1,011402		

Experimento: Pressão Controlada **Sentido:** Anti-horário **Graus de Liberdade (ν):** 9
Trecho: S4-S1 **Nível de Vazão:** Máxima

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER										TURBINA						VAZÃO (l/s)		
		0,75 [kgf/cm²]	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA
Anti-Horário	5	TEMPERATURA INICIAL [°C] 25,29		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)	82,07	1,0000	1,00111	1,00111	1,00038	1,00003	0,99876	19,85	19,83	19,82	9805	82,07	9805,65	9805,40	494,01	494,53	0,242	0,239	0,214
1	41	25,29	82,66	1,0000	1,00111	1,00111	1,00038	1,00003	0,99876	19,85	19,83	19,82	9880	82,65	9880,86	9880,85	497,80	498,33	0,240	0,239	0,224
2	41	25,26	82,64	1,0000	1,00111	1,00111	1,00038	1,00003	0,99877	19,85	19,83	19,82	9883	82,63	9884,23	9883,75	497,97	498,48	0,240	0,239	0,205
3	41	25,27	82,12	1,0000	1,00111	1,00111	1,00038	1,00003	0,99877	19,85	19,83	19,82	9820	82,12	9820,82	9820,70	494,78	495,30	0,242	0,239	0,207
4	41	25,30	82,69	1,0000	1,00111	1,00111	1,00038	1,00003	0,99876	19,85	19,83	19,82	9893	82,69	9893,12	9893,05	498,41	498,95	0,240	0,239	0,212
5	41	25,27	83,15	1,0000	1,00111	1,00111	1,00038	1,00003	0,99877	19,85	19,83	19,82	9911	83,15	9911,82	9911,65	499,36	499,89	0,239	0,238	0,204
6	41	25,31	82,19	1,0000	1,00111	1,00111	1,00038	1,00003	0,99876	19,85	19,83	19,82	9829	82,18	9829,28	9829,24	495,20	495,73	0,242	0,239	0,225
7	41	25,30	82,17	1,0000	1,00111	1,00111	1,00038	1,00003	0,99876	19,85	19,83	19,82	9818	82,17	9818,67	9818,62	494,66	495,20	0,242	0,239	0,222
8	41	25,30	83,04	1,0000	1,00111	1,00111	1,00038	1,00003	0,99876	19,85	19,83	19,82	9913	83,04	9913,69	9913,56	499,45	499,98	0,239	0,239	0,218
9	41	25,29	82,14	1,0000	1,00111	1,00111	1,00038	1,00003	0,99876	19,85	19,83	19,82	9830	82,14	9830,26	9830,25	495,25	495,78	0,242	0,239	0,221
10	41																				
μ			82,49							19,85	19,83	19,82	9858	82,48	9858,84	9858,71	496,69	497,22	0,241	0,239	0,215
s(x _i)			0,4028										42	0,4021	41,76	41,74	2,10	2,11	0,0012	0,0003	0,0080
u(x _i)			0,1274										13	0,1271	13,21	13,20	0,67	0,67	0,0004	0,0001	0,0025
RESULTADO																					
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)						Fatores de Correção				
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0005		0,002		95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa				Fator-k	Fator-k	MF		
			Incerteza Expandida (U)		0,0010		0,004		0,241 ± 0,433		ts= 2,26		0,76%		11,83%				Double-Timing	Processado	
									v= 9								496,69	497,22	1,007631		

Experimento: Pressão Controlada

Sentido: Horário

Graus de Liberdade (ν): 9

Trecho: S1-S4

Nível de Vazão: Intermediária

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER										TURBINA						VAZÃO (l/s)			
		0,75 [kgf/cm²]	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA	
Horário	5	TEMPERATURA INICIAL [°C] 25,21		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	nº PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]	
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	nº PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]	
1	14	25,17	121,54	1,0000	1,00109	1,00109	1,00038	1,00003	0,99880	19,85	19,83	19,82	10088	121,53	10088,49	10088,04	508,26	508,77	0,163	0,166	0,138	
2	14	25,20	119,48	1,0000	1,00109	1,00109	1,00038	1,00003	0,99879	19,85	19,83	19,82	9964	119,48	9964,16	9964,05	501,99	502,52	0,166	0,167	0,174	
3	14	25,22	119,27	1,0000	1,00110	1,00110	1,00038	1,00003	0,99878	19,85	19,83	19,82	9947	119,26	9948,00	9947,74	501,18	501,70	0,166	0,167	0,172	
4	14	25,25	120,46	1,0000	1,00110	1,00110	1,00038	1,00003	0,99877	19,85	19,83	19,82	9997	120,45	9997,75	9997,27	503,68	504,20	0,165	0,166	0,131	
5	14	25,23	119,72	1,0000	1,00110	1,00110	1,00038	1,00003	0,99878	19,85	19,83	19,82	9978	119,71	9979,12	9978,84	502,74	503,27	0,166	0,167	0,143	
6	14	25,27	119,21	1,0000	1,00111	1,00111	1,00038	1,00003	0,99877	19,85	19,83	19,82	9939	119,21	9939,46	9939,37	500,74	501,28	0,167	0,167	0,171	
7	14	25,25	119,65	1,0000	1,00110	1,00110	1,00038	1,00003	0,99877	19,85	19,83	19,82	9985	119,64	9985,50	9985,22	503,06	503,59	0,166	0,167	0,134	
8	14	25,27	123,13	1,0000	1,00111	1,00111	1,00038	1,00003	0,99877	19,85	19,83	19,82	9910	123,12	9910,64	9910,65	499,29	499,83	0,161	0,161	0,139	
9	14	25,32	125,56	1,0000	1,00112	1,00112	1,00038	1,00003	0,99876	19,85	19,83	19,82	10108	125,56	10108,39	10108,22	509,25	509,79	0,158	0,161	0,138	
10	14	25,34	123,45	1,0000	1,00112	1,00112	1,00038	1,00003	0,99875	19,85	19,83	19,82	9959	123,44	9959,33	9959,25	501,74	502,28	0,161	0,161	0,128	
μ			121,15							19,85	19,83	19,82	9988	121,14	9988,09	9987,87	503,19	503,72	0,164	0,165	0,147	
s(x _i)			2,2018										63	2,2029	63,34	63,25	3,19	3,19	0,0029	0,0027	0,0178	
u(x _i)			0,6963										20	0,6966	20,03	20,00	1,01	1,01				
RESULTADO																						
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)				Fatores de Correção							
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0010		0,006		95,00		Contagem dos Pulsos				Indicativa		Fator-k		Fator-k		MF	
					0,0022		0,013		0,164 ± 1,324		ts= 2,26				-0,54%		11,60%		Double-Timing		Processado	
			Incerteza Expandida (U)								v= 9								503,19		503,72	
																					0,994620	

Experimento: Pressão Controlada

Sentido: Anti-horário

Graus de Liberdade (ν): 9

Trecho: S4-S1

Nível de Vazão:

Intermediária

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER									TURBINA						VAZÃO (l/s)			
		0,75 [kgf/cm²]	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA
Anti-Horário	5	TEMPERATURA INICIAL [°C] 25,21		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	Vb	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)																			
1	41	25,15	122,18	1,0000	1,00108	1,00108	1,00038	1,00003	0,99880	19,85	19,83	19,82	10098	122,17	10098,83	10098,36	508,78	509,29	0,162	0,165	0,130
2	41	25,19	119,48	1,0000	1,00109	1,00109	1,00038	1,00003	0,99879	19,85	19,83	19,82	9914	119,48	9914,74	9914,35	499,51	500,01	0,166	0,166	0,125
3	41	25,26	120,11	1,0000	1,00110	1,00110	1,00038	1,00003	0,99877	19,85	19,83	19,82	9941	120,09	9942,22	9941,77	500,88	501,40	0,165	0,165	0,129
4	41	25,27	121,82	1,0000	1,00111	1,00111	1,00038	1,00003	0,99877	19,85	19,83	19,82	10068	121,81	10068,50	10068,40	507,24	507,78	0,163	0,165	0,141
5	41	25,25	120,86	1,0000	1,00110	1,00110	1,00038	1,00003	0,99877	19,85	19,83	19,82	10000	120,85	10000,71	10000,63	503,83	504,36	0,164	0,165	0,129
6	41	25,29	118,40	1,0000	1,00111	1,00111	1,00038	1,00003	0,99876	19,85	19,83	19,82	9818	118,40	9818,58	9818,09	494,65	495,16	0,168	0,166	0,141
7	41	25,28	123,18	1,0000	1,00111	1,00111	1,00038	1,00003	0,99876	19,85	19,83	19,82	10049	123,17	10050,01	10049,64	506,31	506,84	0,161	0,163	0,144
8	41	25,30	123,86	1,0000	1,00111	1,00111	1,00038	1,00003	0,99876	19,85	19,83	19,82	9956	123,85	9956,61	9956,34	501,60	502,13	0,160	0,161	0,133
9	41	25,38	125,96	1,0000	1,00113	1,00113	1,00038	1,00003	0,99874	19,85	19,83	19,82	10098	125,95	10098,76	10098,59	508,76	509,31	0,158	0,160	0,129
10	41	25,33	125,34	1,0000	1,00112	1,00112	1,00038	1,00003	0,99875	19,85	19,83	19,82	10042	125,32	10042,97	10042,77	505,95	506,49	0,158	0,160	0,159
μ			122,12							19,85	19,83	19,82	9998	122,11	9999,19	9998,89	503,75	504,28	0,163	0,164	0,136
s(x _i)			2,4878										91	2,4873	90,65	90,72	4,57	4,58	0,0033	0,0024	0,0102
u(x _i)			0,7867										29	0,7866	28,67	28,69	1,44	1,45	0,0010	0,0008	0,0032
RESULTADO																					
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)						Fatores de Correção				
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0011		0,007		95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa				Fator-k		Fator-k		MF
			Incerteza Expandida (U)		0,0024		0,015		ts= 2,26 v= 9		-0,64%		19,37%				Double-Timing		Processado		
							0,163 ± 1,478										503,75		504,28		0,993592

Experimento: Pressão Controlada Sentido: Horário Graus de Liberdade (ν): 9
Trecho: S1-S4 Nível de Vazão: Mínima

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER										TURBINA						VAZÃO (l/s)			
		0,75 [kgf/cm²]	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA	
Horário	5	TEMPERATURA INICIAL [°C] 24,94		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	nº PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]	
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	nº PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]	
1	14	25,10	187,71	1,0000	1,00107	1,00107	1,00038	1,00003	0,99881	19,85	19,83	19,82	10080	187,69	10081,18	10080,70	507,86	508,37	0,106	0,107	0,074	
2	14	24,96	186,51	1,0000	1,00104	1,00104	1,00038	1,00003	0,99885	19,85	19,83	19,82	9938	186,50	9938,67	9938,42	500,70	501,19	0,106	0,106	0,088	
3	14	25,01	179,18	1,0000	1,00105	1,00105	1,00038	1,00003	0,99884	19,85	19,83	19,82	9706	179,17	9706,28	9706,26	488,99	489,48	0,111	0,108	0,080	
4	14	25,01	179,90	1,0000	1,00105	1,00105	1,00038	1,00003	0,99884	19,85	19,83	19,82	9703	179,88	9704,11	9703,86	488,88	489,36	0,110	0,108	0,087	
5	14	25,10	187,56	1,0000	1,00107	1,00107	1,00038	1,00003	0,99881	19,85	19,83	19,82	10133	187,55	10133,40	10133,37	510,49	511,02	0,106	0,108	0,092	
6	14	25,10	184,46	1,0000	1,00107	1,00107	1,00038	1,00003	0,99881	19,85	19,83	19,82	9926	184,45	9926,50	9926,26	500,07	500,58	0,108	0,108	0,086	
7	14	25,16	188,05	1,0001	1,00108	1,00108	1,00038	1,00003	0,99880	19,85	19,83	19,82	10159	188,04	10159,62	10159,47	511,81	512,34	0,106	0,108	0,081	
8	14	25,21	189,34	1,0001	1,00109	1,00109	1,00038	1,00003	0,99878	19,85	19,83	19,82	10246	189,33	10246,60	10246,10	516,19	516,71	0,105	0,108	0,089	
9	14	25,27	194,17	1,0001	1,00111	1,00111	1,00038	1,00003	0,99877	19,85	19,83	19,82	10421	194,16	10421,73	10421,70	525,00	525,56	0,102	0,107	0,085	
10	14	25,23	187,60	1,0001	1,00110	1,00110	1,00038	1,00003	0,99878	19,85	19,83	19,82	10036	187,58	10036,79	10036,79	505,61	506,15	0,106	0,107	0,091	
μ			186,45							19,85	19,83	19,82	10035	186,43	10035,49	10035,29	505,56	506,08	0,107	0,108	0,085	
s(x _i)			4,4028										226	4,4023	226,15	226,14	11,38	11,40	0,0025	0,0006	0,0056	
u(x _i)			1,3923										72	1,3921	71,51	71,51	3,60	3,61				
RESULTADO																						
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)						Fatores de Correção					
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0008		0,008		95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa				Fator-k	Fator-k	MF			
			Incerteza Expandida (U)		0,0018		0,017		0,107 ± 1,707		ts= 2,26 v= 9		-0,97%		24,95%				Double-Timing	Processado		
																			505,56	506,08	0,990341	

Experimento: Pressão Controlada

Sentido: Anti-horário

Graus de Liberdade (ν): 9

Trecho: S4-S1

Nível de Vazão:

Mínima

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER									TURBINA						VAZÃO (l/s)			
		0,75 [kgf/cm²]	TEMPO	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA
		TEMPERATURA INICIAL [°C] 24,94		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO			
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)																	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]
1	41	24,94	189,86	1,0000	1,00104	1,00104	1,00038	1,00003	0,99885	19,85	19,83	19,82	10166	189,84	10167,02	10166,82	512,21	512,71	0,105	0,107	0,087
2	41	24,97	194,22	1,0000	1,00104	1,00104	1,00038	1,00003	0,99885	19,85	19,83	19,82	10405	194,21	10405,81	10405,54	524,23	524,75	0,102	0,107	0,097
3	41	24,99	183,61	1,0000	1,00105	1,00105	1,00038	1,00003	0,99884	19,85	19,83	19,82	9844	183,60	9844,70	9844,27	495,96	496,44	0,108	0,107	0,075
4	41	25,06	185,60	1,0000	1,00106	1,00106	1,00038	1,00003	0,99882	19,85	19,83	19,82	9984	185,58	9984,91	9984,72	503,02	503,53	0,107	0,108	0,095
5	41	25,09	191,90	1,0000	1,00107	1,00107	1,00038	1,00003	0,99881	19,85	19,83	19,82	10273	191,88	10274,07	10273,90	517,58	518,11	0,103	0,107	0,085
6	41	25,12	186,26	1,0000	1,00108	1,00108	1,00038	1,00003	0,99881	19,85	19,83	19,82	9961	186,25	9961,32	9961,04	501,82	502,33	0,107	0,107	0,087
7	41	25,19	187,94	1,0001	1,00109	1,00109	1,00038	1,00003	0,99879	19,85	19,83	19,82	10097	187,93	10097,37	10097,21	508,67	509,20	0,106	0,107	0,076
8	41	25,23	187,85	1,0001	1,00110	1,00110	1,00038	1,00003	0,99878	19,85	19,83	19,82	10050	187,82	10051,27	10050,83	506,34	506,86	0,106	0,107	0,080
9	41	25,24	185,96	1,0001	1,00110	1,00110	1,00038	1,00003	0,99878	19,85	19,83	19,82	9967	185,95	9967,25	9967,04	502,11	502,64	0,107	0,107	0,084
10	41	25,27	188,12	1,0001	1,00111	1,00111	1,00038	1,00003	0,99877	19,85	19,83	19,82	10078	188,11	10078,24	10078,23	507,70	508,24	0,106	0,107	0,088
μ			188,13							19,85	19,83	19,82	10083	188,12	10083,20	10082,96	507,96	508,48	0,106	0,107	0,085
s(x _i)			3,1527										164	3,1503	164,53	164,56	8,29	8,30	0,0018	0,0002	0,0072
u(x _i)			0,9970										52	0,9962	52,03	52,04	2,62	2,62	0,0006	0,0001	0,0023
RESULTADO																					
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)						Fatores de Correção				
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0006		0,005		95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa				Fator-k	Fator-k	MF		
			Incerteza Expandida (U)		0,0013		0,012		0,106 ± 1,225		ts= 2,26 v= 9		-1,46%		23,64%				507,96	508,48	0,985432

Experimento: Pressão Controlada **Sentido:** Horário **Graus de Liberdade (ν):** 9
Trecho: S1-S4 **Nível de Vazão:** Máxima

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER										TURBINA						VAZÃO (l/s)		
		l [kgf/cm²]	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA
Horário	5	TEMPERATURA INICIAL [°C] 25,15		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)	[=V _M /t]																[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]	
1	14	25,35	104,24	1,0001	1,00112	1,00112	1,00051	1,00004	0,99875	19,85	19,83	19,82	10177	104,23	10177,55	10177,44	512,73	513,27	0,190	0,195	0,189
2	14	25,41	104,04	1,0001	1,00114	1,00114	1,00051	1,00004	0,99873	19,85	19,83	19,82	10102	104,04	10102,58	10102,04	508,94	509,47	0,191	0,194	0,168
3	14	25,47	105,33	1,0001	1,00115	1,00115	1,00051	1,00004	0,99872	19,85	19,83	19,82	10220	105,32	10220,20	10220,05	514,86	515,42	0,188	0,194	0,196
4	14	25,48	105,26	1,0001	1,00115	1,00115	1,00051	1,00004	0,99871	19,85	19,83	19,82	10236	105,25	10236,99	10236,60	515,71	516,26	0,189	0,194	0,184
5	14	25,48	103,44	1,0001	1,00115	1,00115	1,00051	1,00004	0,99871	19,85	19,83	19,82	10062	103,43	10063,11	10062,74	506,95	507,49	0,192	0,194	0,159
6	14	25,53	104,76	1,0001	1,00116	1,00116	1,00051	1,00004	0,99870	19,85	19,83	19,82	10157	104,75	10157,91	10157,60	511,72	512,27	0,190	0,194	0,172
7	14	25,54	106,16	1,0001	1,00116	1,00116	1,00051	1,00004	0,99870	19,85	19,83	19,82	10291	106,15	10292,30	10291,94	518,49	519,05	0,187	0,194	0,195
8	14	25,60	104,46	1,0001	1,00118	1,00118	1,00051	1,00004	0,99868	19,85	19,83	19,82	10124	104,46	10124,75	10124,75	510,04	510,62	0,190	0,194	0,174
9	14	25,59	105,35	1,0001	1,00117	1,00117	1,00051	1,00004	0,99868	19,85	19,83	19,82	10181	105,34	10181,93	10181,57	512,92	513,48	0,188	0,193	0,170
10	14	25,61	104,99	1,0001	1,00118	1,00118	1,00051	1,00004	0,99868	19,85	19,83	19,82	10150	104,98	10151,08	10150,63	511,37	511,92	0,189	0,193	0,171
μ			104,80							19,85	19,83	19,82	10170	104,79	10170,84	10170,54	512,37	512,93	0,189	0,194	0,177
s(x _i)			0,7837										67	0,7830	67,23	67,24	3,39	3,39	0,0014	0,0006	0,0125
u(x _i)			0,2478										21	0,2476	21,26	21,26	1,07	1,07			
RESULTADO																					
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)						Fatores de Correção				
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0005		0,003		95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa				Fator-k	Fator-k	MF		
			Incerteza Expandida (U)		0,0012		0,006		0,189 ± 0,608		ts= 2,26		-2,33%				6,73%		Double-Timing	Processado	
									v= 9								512,37	512,93	0,976743		

Experimento: Pressão Controlada

Sentido: Anti-horário

Graus de Liberdade (ν): 9

Trecho: S4-S1

Nível de Vazão: Máxima

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER									TURBINA						VAZÃO (l/s)			
		1 [kgf/cm²]	TEMPO	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA
Anti-Horário	5	TEMPERATURA INICIAL [°C] 25,15		(seg.)	C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)																			
1	41	25,37	102,56	1,0001	1,00113	1,00113	1,00051	1,00004	0,99874	19,85	19,83	19,82	9925	102,56	9925,34	9925,05	500,02	500,55	0,194	0,193	0,188
2	41	25,45	103,36	1,0001	1,00114	1,00114	1,00051	1,00004	0,99872	19,85	19,83	19,82	9976	103,35	9976,79	9976,40	502,60	503,14	0,192	0,193	0,173
3	41	25,48	103,65	1,0001	1,00115	1,00115	1,00051	1,00004	0,99871	19,85	19,83	19,82	10011	103,64	10011,29	10011,25	504,34	504,89	0,192	0,193	0,182
4	41	25,48	104,39	1,0001	1,00115	1,00115	1,00051	1,00004	0,99871	19,85	19,83	19,82	10114	104,38	10115,09	10114,75	509,57	510,11	0,190	0,194	0,151
5	41	25,48	103,87	1,0001	1,00115	1,00115	1,00051	1,00004	0,99871	19,85	19,83	19,82	10055	103,86	10055,96	10055,54	506,59	507,13	0,191	0,193	0,179
6	41	25,54	104,70	1,0001	1,00116	1,00116	1,00051	1,00004	0,99870	19,85	19,83	19,82	10097	104,69	10098,15	10097,97	508,71	509,27	0,190	0,193	0,161
7	41	25,59	105,40	1,0001	1,00117	1,00117	1,00051	1,00004	0,99869	19,85	19,83	19,82	10176	105,39	10176,47	10176,39	512,65	513,22	0,188	0,193	0,161
8	41	25,61	105,46	1,0001	1,00118	1,00118	1,00051	1,00004	0,99868	19,85	19,83	19,82	10118	105,45	10118,58	10118,54	509,73	510,30	0,188	0,192	0,163
9	41	25,61	105,58	1,0001	1,00118	1,00118	1,00051	1,00004	0,99868	19,85	19,83	19,82	10125	105,57	10126,29	10125,83	510,12	510,67	0,188	0,192	0,181
10	41	25,63	105,73	1,0001	1,00118	1,00118	1,00051	1,00004	0,99867	19,85	19,83	19,82	10181	105,72	10181,81	10181,54	512,91	513,48	0,188	0,192	0,169
μ			104,47							19,85	19,83	19,82	10078	104,46	10078,58	10078,33	507,72	508,28	0,190	0,193	0,171
s(x _i)			1,0867										85	1,0853	84,80	84,82	4,26	4,28	0,0020	0,0007	0,0117
u(x _i)			0,3436										27	0,3432	26,82	26,82	1,35	1,35	0,0006	0,0002	0,0037
RESULTADO																					
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)						Fatores de Correção				
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0007		0,004		95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa				Fator-k	Fator-k	MF		
			Incerteza Expandida (U)		0,0015		0,008		0,190 ± 0,798		ts= 2,26 v= 9		-1,43%		11,44%				Double-Timing	Processado	
																			507,72	508,28	0,985719

Experimento: Pressão Controlada

Sentido: Horário

Graus de Liberdade (ν): 8

Trecho: S1-S4

Nível de Vazão: Intermediária

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER									TURBINA						VAZÃO (l/s)			
		l [kgf/cm²]	TEMPO (seg.)	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA
Horário	5	TEMPERATURA INICIAL [°C] 24,79		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)																			
1	14	24,84	151,10	1,0000	1,00102	1,00102	1,00051	1,00004	0,99888	19,85	19,83	19,82	10322	151,09	10323,12	10322,92	520,07	520,56	0,131	0,137	0,123
2	14	24,90	150,87	1,0000	1,00103	1,00103	1,00051	1,00004	0,99886	19,85	19,83	19,82	10288	150,85	10289,23	10288,81	518,35	518,84	0,132	0,136	0,115
3	14	24,96	153,73	1,0000	1,00104	1,00104	1,00051	1,00004	0,99885	19,85	19,83	19,82	10481	153,71	10482,10	10482,01	528,06	528,58	0,129	0,136	0,113
4	14	24,99	149,13	1,0001	1,00105	1,00105	1,00051	1,00004	0,99884	19,85	19,83	19,82	10111	149,12	10111,75	10111,71	509,40	509,91	0,133	0,136	0,112
5	14	25,01	153,04	1,0001	1,00105	1,00105	1,00051	1,00004	0,99883	19,85	19,83	19,82	10434	153,03	10435,02	10434,90	525,69	526,21	0,130	0,136	0,131
6	14	25,02	152,81	1,0001	1,00105	1,00105	1,00051	1,00004	0,99883	19,85	19,83	19,82	10440	152,80	10440,98	10440,90	525,98	526,51	0,130	0,137	0,102
7	14	25,05	155,07	1,0001	1,00106	1,00106	1,00051	1,00004	0,99882	19,85	19,83	19,82	10604	155,05	10605,15	10604,82	534,25	534,78	0,128	0,137	0,101
8	14	25,09	153,28	1,0001	1,00107	1,00107	1,00051	1,00004	0,99881	19,85	19,83	19,82	10454	153,27	10454,63	10454,63	526,66	527,20	0,130	0,136	0,104
9	14	25,12	153,66	1,0001	1,00108	1,00108	1,00051	1,00004	0,99881	19,85	19,83	19,82	10413	153,64	10414,44	10413,99	524,64	525,15	0,129	0,135	0,106
10	14	25,19	152,19	1,0001	1,00109	1,00109	1,00051	1,00004	0,99879	19,85	19,83	19,82	10355	152,18	10356,04	10355,86	521,69	522,22	0,130	0,136	0,117
μ			152,86							19,85	19,83	19,82	10421	152,85	10422,30	10422,09	525,04	525,56	0,130	0,136	0,113
s(x _i)			1,3216										94	1,3218	93,92	93,95	4,73	4,74	0,0011	0,0004	0,0103
u(x _i)			0,4405										31	0,4406	31,31	31,32	1,58	1,58			
RESULTADO																					
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)						Fatores de Correção				
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0004		0,003		95,00		Contagem dos Pulsos Indicativa						Fator-k	Fator-k	MF		
			Incerteza Expandida (U)		0,0009		0,007		0,130 ± 0,729		ts= 2,31 -4,68% 15,31%						Double-Timing	Processado			
											v= 8						525,04	525,56	0,953201		

Experimento: Pressão Controlada

Sentido: Anti-horário

Graus de Liberdade (ν): 9

Trecho: S4-S1

Nível de Vazão: Intermediária

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER									TURBINA						VAZÃO (l/s)			
		1 [kgf/cm²]	TEMPO	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA
Anti-Horário	5	TEMPERATURA INICIAL [°C] 24,79		(seg.)	C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)																			
1	41	24,85	147,35	1,0000	1,00102	1,00102	1,00051	1,00004	0,99888	19,85	19,83	19,82	9985	147,35	9985,43	9985,13	503,05	503,53	0,135	0,135	0,118
2	41	24,92	149,34	1,0000	1,00103	1,00103	1,00051	1,00004	0,99886	19,85	19,83	19,82	10138	149,34	10138,15	10138,17	510,74	511,25	0,133	0,136	0,107
3	41	24,96	158,67	1,0000	1,00104	1,00104	1,00051	1,00004	0,99885	19,85	19,83	19,82	10786	158,65	10787,04	10786,72	543,43	543,95	0,125	0,136	0,129
4	41	24,98	152,92	1,0000	1,00105	1,00105	1,00051	1,00004	0,99884	19,85	19,83	19,82	10380	152,90	10381,27	10380,76	522,98	523,48	0,130	0,136	0,103
5	41	25,00	151,56	1,0001	1,00105	1,00105	1,00051	1,00004	0,99884	19,85	19,83	19,82	10263	151,54	10264,13	10263,78	517,08	517,58	0,131	0,135	0,113
6	41	25,01	152,59	1,0001	1,00105	1,00105	1,00051	1,00004	0,99883	19,85	19,83	19,82	10386	152,59	10386,39	10386,23	523,24	523,75	0,130	0,136	0,120
7	41	25,06	149,05	1,0001	1,00106	1,00106	1,00051	1,00004	0,99882	19,85	19,83	19,82	10089	149,05	10089,40	10089,39	508,27	508,79	0,133	0,135	0,100
8	41	25,08	159,94	1,0001	1,00107	1,00107	1,00051	1,00004	0,99882	19,85	19,83	19,82	10874	159,94	10874,59	10874,54	547,82	548,38	0,124	0,136	0,124
9	41	25,13	153,74	1,0001	1,00108	1,00108	1,00051	1,00004	0,99880	19,85	19,83	19,82	10390	153,73	10390,69	10390,51	523,44	523,97	0,129	0,135	0,102
10	41	25,21	154,37	1,0001	1,00109	1,00109	1,00051	1,00004	0,99878	19,85	19,83	19,82	10476	154,36	10476,95	10476,84	527,78	528,32	0,129	0,136	0,119
μ			152,96							19,85	19,83	19,82	10377	152,94	10377,40	10377,21	522,78	523,30	0,130	0,136	0,114
s(x _i)			4,0255										285	4,0232	285,16	285,15	14,36	14,38	0,0034	0,0003	0,0101
u(x _i)			1,2730										90	1,2723	90,18	90,17	4,54	4,55	0,0011	0,0001	0,0032
RESULTADO																					
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)						Fatores de Correção				
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0011		0,008		95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa				Fator-k	Fator-k	MF		
			Incerteza Expandida (U)		0,0025		0,019		ts= 2,26 v= 9		-4,21%		14,28%				Double-Timing	Processado			
																	522,78	523,30	0,957877		

Experimento: Pressão Controlada

Sentido: Horário

Graus de Liberdade (ν): 9

Trecho: S1-S4

Nível de Vazão:

Mínima

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER									TURBINA						VAZÃO (l/s)							
		1 [kgf/cm²]	TEMPO	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA				
		TEMPERATURA INICIAL [°C]		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO							
Horário	5	25,86	Medidas (°C)	(seg.)																			[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]
CICLO	TRECHO																								
1	14	25,71			234,34	1,0000	1,00120	1,00120	1,00051	1,00004	0,99865	19,85	19,83	19,81	10571	234,32	10571,74	10571,42	532,64	533,24	0,085	0,090	0,073		
2	14	25,82			235,14	1,0000	1,00122	1,00122	1,00051	1,00004	0,99862	19,85	19,82	19,81	10541	235,11	10542,25	10541,94	531,14	531,75	0,084	0,090	0,084		
3	14	25,83			236,92	1,0000	1,00122	1,00122	1,00051	1,00004	0,99862	19,85	19,82	19,81	10682	236,91	10682,47	10682,04	538,21	538,82	0,084	0,090	0,090		
4	14	25,78			243,03	1,0000	1,00121	1,00121	1,00051	1,00004	0,99863	19,85	19,83	19,81	10902	243,00	10903,38	10902,92	549,34	549,96	0,082	0,090	0,066		
5	14	25,78			233,02	1,0000	1,00121	1,00121	1,00051	1,00004	0,99864	19,85	19,83	19,81	10590	233,00	10590,67	10590,44	533,59	534,20	0,085	0,091	0,080		
6	14	25,75			228,65	1,0000	1,00121	1,00121	1,00051	1,00004	0,99864	19,85	19,83	19,81	10411	228,64	10411,42	10411,35	524,56	525,17	0,087	0,091	0,073		
7	14	25,73			236,73	1,0000	1,00120	1,00120	1,00051	1,00004	0,99865	19,85	19,83	19,81	10793	236,72	10793,76	10793,54	543,83	544,45	0,084	0,091	0,084		
8	14	25,74			240,34	1,0000	1,00120	1,00120	1,00051	1,00004	0,99865	19,85	19,83	19,81	10838	240,33	10838,42	10838,10	546,08	546,69	0,083	0,090	0,085		
9	14	25,72			246,90	1,0000	1,00120	1,00120	1,00051	1,00004	0,99865	19,85	19,83	19,81	11121	246,88	11121,97	11121,93	560,36	561,01	0,080	0,090	0,091		
10	14	25,69	238,01	1,0000	1,00120	1,00120	1,00051	1,00004	0,99866	19,85	19,83	19,81	10629	237,99	10629,53	10629,37	535,56	536,17	0,083	0,089	0,083				
μ			237,31									19,85			19,83	19,81	10708	237,29	10708,56	10708,31	539,53	540,15	0,084	0,090	0,081
s(x _i)			5,1848														208	5,1816	207,76	207,76	10,47	10,48	0,0018	0,0006	0,0081
u(x _i)			1,6396														66	1,6386	65,70	65,70	3,31	3,31			
RESULTADO																									
Mensurando (l/s)				Absoluta			Relativa			y ± U (%)			Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)						Fatores de Correção				
(y)				Incerteza Combinada (uc)			0,0006			0,007			95,00		Contagem dos Pulsos Indicativa						Fator-k Fator-k MF				
0,084													ts= 2,26		-7,20% 3,53%						Double-Timing Processado				
				Incerteza Expandida (U)			0,0013			0,016			v= 9								539,53 540,15 0,927993				

Experimento: Pressão Controlada **Sentido:** Anti-horário **Graus de Liberdade (ν):** 9

Trecho: S4-S1 **Nível de Vazão:** Mínima

SENTIDO	ESFERA	PRESSÃO	PIPE PROVER									TURBINA						VAZÃO (l/s)																							
		1 [kgf/cm²]	TEMPO	FATORES DE CORREÇÃO						VOLUMES (LITROS)			DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO		PIPE PROVER	TURBINA	TURBINA																				
		TEMPERATURA INICIAL [°C]		C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO																							
Anti-Horário	5	25,86	Medidas (°C)	(seg.)	C _{tdw}	C _{ts M}	C _{ts P}	C _{ps P}	C _{pl P}	C _{tl}	V _M	V _{M st}	V _b	n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	[=V _M /t]	[=pulso/(k _{fab} * t)]	[=Indicativa]																			
CICLO	TRECHO																																								
1	41	25,86																					230,23	1,0000	1,00123	1,00123	1,00051	1,00004	0,99861	19,85	19,82	19,81	10351	230,21	10352,11	10351,89	521,56	522,17	0,086	0,090	0,091
2	41	25,90																					255,33	1,0000	1,00124	1,00124	1,00051	1,00004	0,99860	19,85	19,82	19,81	11369	255,32	11369,26	11369,27	572,80	573,49	0,078	0,089	0,083
3	41	25,86																					233,15	1,0000	1,00123	1,00123	1,00051	1,00004	0,99861	19,85	19,82	19,81	10373	233,14	10373,67	10373,44	522,65	523,26	0,085	0,089	0,083
4	41	25,87																					253,83	1,0000	1,00123	1,00123	1,00051	1,00004	0,99861	19,85	19,82	19,81	11355	253,82	11355,49	11355,24	572,11	572,78	0,078	0,089	0,084
5	41	25,84																					246,55	1,0000	1,00123	1,00123	1,00051	1,00004	0,99862	19,85	19,82	19,81	11216	246,53	11216,91	11216,63	565,13	565,79	0,081	0,091	0,084
6	41	25,84																					224,73	1,0000	1,00123	1,00123	1,00051	1,00004	0,99862	19,85	19,82	19,81	10161	224,71	10161,81	10161,40	511,98	512,56	0,088	0,090	0,076
7	41	25,84																					246,83	1,0000	1,00123	1,00123	1,00051	1,00004	0,99862	19,85	19,82	19,81	11054	246,81	11055,23	11054,87	556,99	557,63	0,080	0,090	0,082
8	41	25,82																					245,94	1,0000	1,00122	1,00122	1,00051	1,00004	0,99862	19,85	19,82	19,81	10941	245,93	10941,46	10941,48	551,26	551,91	0,081	0,089	0,095
9	41	25,84																					227,02	1,0000	1,00123	1,00123	1,00051	1,00004	0,99862	19,85	19,82	19,81	10169	227,01	10169,54	10169,32	512,36	512,96	0,087	0,090	0,072
10	41	25,82	224,93	1,0000	1,00122	1,00122	1,00051	1,00004	0,99862	19,85	19,82	19,81	10142	224,91	10142,87	10142,72	511,02	511,62	0,088	0,090	0,085																				
μ			238,85								19,85	19,82	19,81	10713	238,84	10713,83	10713,63	539,79	540,42	0,083	0,090	0,083																			
s(x _i)			12,0594											520	12,0617	520,29	520,33	26,21	26,25	0,0042	0,0007	0,0066																			
u(x _i)			3,8135											165	3,8143	164,53	164,54	8,29	8,30	0,0013	0,0002	0,0021																			
RESULTADO																																									
Mensurando (l/s)				Absoluta		Relativa		y ± U (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)				Fatores de Correção																									
(y)				Incerteza Combinada (uc)		0,0013		0,016		95,00		Contagem dos Pulsos		Indicativa		Fator-k		Fator-k		MF																					
0,083																Double-Timing		Processado																							
				Incerteza Expandida (U)		0,0030		0,036		ts= 2,26 v= 9						539,79		540,42		0,929225																					

Experimento: Método Gravimétrico **Sentido:** Horário **Graus de Liberdade (ν):** 4
Trecho: S1-S4 **Nível de Vazão:** Máxima

SENTIDO Horário			PRESSÃO 0,62 [kgf/cm²] TEMPERATURA INICIAL [°C] 24,62											TURBINA					
			TEMPO (seg.)	DENSIDADE [g/cm³]		FATORES DE CORREÇÃO						MASSA MEDIDA [KG]		DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO	
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)		ar	água	CBW	CTS	CTSp	CPS	CPSp	CPLp			n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE- TIMING	PROCESSADO	DOUBLE- TIMING	PROCESSADO
1	14	24,64	67,17	0,0014	0,9971	1,00105	0,99995	1,00005	1,00031	1,00031	1,00003	19,77	19,84	9733	67,16	9734,43	9733,93	490,42	490,41
2	14	24,78	67,25	0,0014	0,9971	1,00105	0,99994	1,00006	1,00031	1,00031	1,00003	19,73	19,80	9724	67,25	9724,64	9724,54	490,90	490,91
3	14	24,85	67,51	0,0014	0,9971	1,00105	0,99997	1,00003	1,00031	1,00031	1,00003	19,84	19,91	9751	67,51	9751,56	9751,25	489,54	489,53
4	14	25,00	67,57	0,0014	0,9970	1,00105	0,99994	1,00006	1,00031	1,00031	1,00003	19,73	19,80	9726	67,56	9726,79	9726,68	490,98	490,99
5	14	25,08	67,94	0,0014	0,9970	1,00105	0,99998	1,00002	1,00031	1,00031	1,00003	19,91	19,98	9784	67,93	9784,83	9784,38	489,47	489,44
μ			67,49									19,80	19,87	9744	67,48	9744,45	9744,16	490,26	490,25
$s(x_i)$			0,30									0,078	0,078	25	0,30	24,93	24,81	0,72	0,74
$u(x_i)$			0,14									0,035	0,035	11	0,14	11,15	11,10	0,32	0,33
RESULTADO																			
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		$y \pm U$ (%)		Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)		Fatores de Correção						
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0360		0,002		95,00		Contagem dos Pulsos		Fator-k		Fator-k				
							19,869 ± 0,504		ts= 2,78		0,003%		Double-Timing		Processado				
			Incerteza Expandida (U)		0,1001				v= 4				490,26		490,25				

Experimento: Método Gravimétrico

Sentido: Anti-horário

Graus de Liberdade (ν): 4

Trecho: S4-S1

Nível de Vazão: Máxima

SENTIDO			PRESSÃO											TURBINA					
Anti-Horário			0,62 [kgf/cm²]																
TEMPERATURA INICIAL [°C]			24,62																
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)	TEMPO (seg.)	DENSIDADE [g/cm³]		FATORES DE CORREÇÃO						MASSA MEDIDA [KG]	CPV [L]	DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO	
				ar	água	CBW	CTS	CTSp	CPS	CPSp	CPLp			n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO
1	41	24,74	67,50	0,0014	0,9971	1,00105	1,00021	0,99979	1,00031	1,00031	1,00003	21,00	21,07	9737	67,50	9738,01	9737,77	462,10	461,97
2	41	24,83	67,68	0,0014	0,9971	1,00105	1,00022	0,99978	1,00031	1,00031	1,00003	21,03	21,10	9729	67,67	9729,61	9729,44	461,03	460,91
3	41	24,93	67,88	0,0014	0,9971	1,00105	1,00021	0,99979	1,00031	1,00031	1,00003	21,02	21,09	9737	67,88	9737,36	9737,09	461,61	461,48
4	41	25,08	67,84	0,0014	0,9970	1,00105	1,00020	0,99980	1,00031	1,00031	1,00003	20,97	21,04	9748	67,83	9748,52	9748,34	463,21	463,09
5	41	25,04	67,81	0,0014	0,9970	1,00105	1,00022	0,99978	1,00031	1,00031	1,00003	21,03	21,10	9735	67,80	9735,60	9735,56	461,29	461,18
μ			67,74									21,01	21,08	9737	67,74	9737,82	9737,64	461,85	461,73
s(xi)			0,15									0,025	0,025	7	0,15	6,84	6,83	0,86	0,86
u(xi)			0,07									0,011	0,011	3	0,07	3,06	3,05	0,38	0,38
RESULTADO																			
Mensurando (l/s)			Absoluta		Relativa		y ± U (%)			Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)		Fatores de Correção					
(y)			Incerteza Combinada (uc)		0,0142		0,001			95,00		Contagem dos Pulsos		Fator-k		Fator-k			
							21,082 ± 0,187							Double-Timing		Processado			
			Incerteza Expandida (U)		0,0395		0,002			ts= 2,78		0,002%		461,85		461,73			
										v-1= 4									

Experimento: Método Gravimétrico

Sentido: Horário

Graus de Liberdade (ν): 4

Trecho: S1-S4

Nível de Vazão:

Intermediária

SENTIDO 0,46 [kgf/cm²] TEMPERATURA INICIAL [°C] 25,16													TURBINA						
			TEMPO (seg.)	DENSIDADE [g/cm³]		FATORES DE CORREÇÃO					MASSA MEDIDA [KG]		CPV [L]	DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO	
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)																	
1	14	25,16	88,85	0,0014	0,9970	1,00105	0,99995	1,00005	1,00023	1,00023	1,00002	19,74	19,82	9766	88,85	9766,47	9766,12	492,71	492,71
2	14	25,13	88,55	0,0014	0,9970	1,00105	0,99994	1,00006	1,00023	1,00023	1,00002	19,72	19,80	9766	88,55	9766,61	9766,22	493,22	493,22
3	14	25,14	88,75	0,0014	0,9970	1,00105	0,99996	1,00004	1,00023	1,00023	1,00002	19,79	19,87	9776	88,74	9776,56	9776,04	491,99	491,97
4	14	25,09	88,75	0,0014	0,9970	1,00105	0,99996	1,00004	1,00023	1,00023	1,00002	19,83	19,91	9783	88,75	9783,97	9783,92	491,38	491,39
5	14	25,13	88,98	0,0014	0,9970	1,00105	0,99996	1,00004	1,00023	1,00023	1,00002	19,82	19,90	9805	88,98	9805,63	9805,19	492,71	492,70
μ			88,78									19,78	19,86	9779	88,77	9779,85	9779,50	492,40	492,40
s(xi)			0,16									0,048	0,048	16	0,16	16,18	16,18	0,72	0,72
u(xi)			0,07									0,022	0,022	7	0,07	7,23	7,23	0,32	0,32
RESULTADO																			
Mensurando (l/s)			Absoluta			Relativa			y ± U (%)			Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)			Fatores de Correção		
(y) 19,856			Incerteza Combinada (uc)			0,0233			19,856 ± 0,327			95,00		Contagem dos Pulsos			Fator-k Double-Timing Fator-k Processado		
			Incerteza Expandida (U)			0,0649						ts= 2,78 v= 4		0,004%			492,40 492,40		

Experimento: Método Gravimétrico

Sentido: Anti-horário

Graus de Liberdade (ν): 4

Trecho: S4-S1

Nível de Vazão: Intermediária

SENTIDO 0,46 [kgf/cm²] Anti-Horário														TURBINA							
			TEMPO (seg.)	DENSIDADE [g/cm³]		FATORES DE CORREÇÃO						MASSA MEDIDA [KG]		CPV [L]		DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO	
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)					ar	água	CBW	CTS	CTSp					CPS	CPSp	CPLp	nº PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE- TIMING
1	41	25,15	88,77	0,0014	0,9970	1,00105	1,00014	0,99986	1,00023	1,00023	1,00002	20,67	20,75	9769	88,76	9769,61	9769,60	470,88	470,80		
2	41	25,18	89,27	0,0014	0,9970	1,00105	1,00015	0,99985	1,00023	1,00023	1,00002	20,71	20,79	9797	89,26	9797,65	9797,23	471,32	471,22		
3	41	25,15	88,91	0,0014	0,9970	1,00105	1,00014	0,99986	1,00023	1,00023	1,00002	20,69	20,77	9776	88,91	9776,18	9776,05	470,74	470,66		
4	41	25,12	89,15	0,0014	0,9970	1,00105	1,00015	0,99985	1,00023	1,00023	1,00002	20,73	20,81	9785	89,15	9785,32	9785,17	470,29	470,20		
5	41	25,16	88,83	0,0014	0,9970	1,00105	1,00015	0,99985	1,00023	1,00023	1,00002	20,72	20,80	9781	88,82	9782,05	9781,84	470,35	470,26		
μ			88,99										20,70	20,78	9782	88,98	9782,16	9781,98	470,72	470,63	
s(xi)			0,22										0,024	0,024	10	0,22	10,52	10,38	0,42	0,42	
u(xi)			0,10										0,011	0,011	5	0,10	4,71	4,64	0,19	0,19	
RESULTADO																					
Mensurando (l/s)			Absoluta				Relativa				y ± U (%)			Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)			Fatores de Correção		
(y)			Incerteza Combinada (uc)				0,0137				0,001				95,00		Contagem dos Pulsos			Fator-k	
																				Double-Timing	
			Incerteza Expandida (U)				0,0381				0,002				ts= 2,78		0,002%			470,72	
															v= 4					470,63	

Experimento: Método Gravimétrico Sentido: Horário Graus de Liberdade (ν): 4
Trecho: S1-S4 Nível de Vazão: Mínima

SENTIDO PRESSÃO 0,25 [kgf/cm²] TEMPERATURA INICIAL [°C] 25,31													TURBINA								
			TEMPO (seg.)	DENSIDADE [g/cm³]		FATORES DE CORREÇÃO						MASSA MEDIDA [KG] CPV [L]		DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO			
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)				ar	água	CBW	CTS	CTSp	CPS			CPSp	CPLp	nº PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE- TIMING	PROCESSADO	DOUBLE- TIMING	PROCESSADO
1	14	25,25	141,35	0,0014	0,9970	1,00105	0,99995	1,00005	1,00013	1,00013	1,00001	19,78	19,86	9837	141,34	9837,79	9837,44	495,30	495,30		
2	14	25,24	141,71	0,0014	0,9970	1,00105	0,99994	1,00006	1,00013	1,00013	1,00001	19,71	19,79	9840	141,70	9840,98	9840,95	497,20	497,23		
3	14	25,28	141,29	0,0014	0,9970	1,00105	0,99996	1,00004	1,00013	1,00013	1,00001	19,79	19,87	9838	141,28	9838,73	9838,76	495,09	495,11		
4	14	25,30	141,83	0,0014	0,9970	1,00105	0,99996	1,00004	1,00013	1,00013	1,00001	19,83	19,91	9840	141,82	9840,61	9840,54	494,19	494,20		
5	14	25,30	141,43	0,0014	0,9970	1,00105	0,99995	1,00005	1,00013	1,00013	1,00001	19,77	19,85	9842	141,42	9842,67	9842,54	495,78	495,80		
μ			141,52										19,78	19,86	9839	141,51	9840,15	9840,05	495,51	495,53	
s(xi)			0,23										0,043	0,043	2	0,23	1,92	1,98	1,11	1,11	
u(xi)			0,10										0,019	0,019	1	0,10	0,86	0,89	0,49	0,50	
RESULTADO																					
Mensurando (l/s)			Absoluta				Relativa		y ± U (%)			Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)				Fatores de Correção			
(y)			Incerteza Combinada (uc)				0,0212		0,001		19,855 ± 0,297			95,00		Contagem dos Pulsos				Fator-k	Fator-k
																			Double-Timing	Processado	
			Incerteza Expandida (U)				0,0590		0,003					ts= 2,78		0,001%				495,51	495,53
												v= 4									

Experimento: Método Gravimétrico

Sentido: Anti-horário

Graus de Liberdade (ν): 4

Trecho: S4-S1

Nível de Vazão: Mínima

SENTIDO			PRESSÃO											TURBINA					
Anti-Horário			0,25 [kgf/cm²]																
TEMPERATURA INICIAL [°C]			25,31																
CICLO	TRECHO	Medidas (°C)	TEMPO (seg.)	DENSIDADE [g/cm³]		FATORES DE CORREÇÃO						MASSA MEDIDA [KG]	CPV [L]	DADOS BRUTOS		INTERPOLAÇÃO		FATOR K PROPOSTO	
				ar	água	CBW	CTS	CTSp	CPS	CPSp	CPLp			n° PULSOS INTEIROS	TEMPO (seg.)	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO	DOUBLE-TIMING	PROCESSADO
1	41	25,29	142,73	0,0014	0,9970	1,00105	1,00008	0,99992	1,00013	1,00013	1,00001	20,40	20,48	9863	142,72	9864,02	9863,81	481,64	481,59
2	41	25,27	141,28	0,0014	0,9970	1,00105	1,00007	0,99993	1,00013	1,00013	1,00001	20,34	20,42	9837	141,27	9837,33	9837,06	481,75	481,70
3	41	25,32	141,77	0,0014	0,9970	1,00105	1,00008	0,99992	1,00013	1,00013	1,00001	20,37	20,45	9843	141,76	9843,63	9843,62	481,35	481,30
4	41	25,32	142,06	0,0014	0,9970	1,00105	1,00007	0,99993	1,00013	1,00013	1,00001	20,33	20,41	9841	142,05	9841,57	9841,58	482,18	482,15
5	41	25,35	140,94	0,0014	0,9970	1,00105	1,00007	0,99993	1,00013	1,00013	1,00001	20,33	20,41	9841	140,93	9841,77	9841,35	482,19	482,13
μ			141,76									20,35	20,43	9845	141,75	9845,66	9845,48	481,82	481,77
$s(x_i)$			0,70									0,030	0,030	10	0,70	10,52	10,52	0,36	0,36
$u(x_i)$			0,31									0,014	0,014	5	0,31	4,70	4,70	0,16	0,16
RESULTADO																			
Mensurando (l/s)			Absoluta			Relativa			$y \pm U$ (%)			Nível de Confiança		Erro sistemático da turbina (%)			Fatores de Correção		
(y)			Incerteza Combinada (uc)			0,0161			0,001			95,00		Contagem dos Pulsos			Fator-k		
									20,433 ± 0,219								Double-Timing		
			Incerteza Expandida (U)			0,0447			0,002			ts= 2,78 v= 4		0,002%			481,82		
																	Processado		
																	481,77		