



**Walace Ferreira de Arantes**

**Avaliação metrológica da comparação interlaboratorial da  
calibração de medidores ultra-sônicos.**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-  
Graduação em Metrologia para Qualidade e  
Inovação / PUC-Rio.

Orientadores:

Prof. Alcir de Faro Orlando

Departamento de Engenharia Mecânica / PUC-Rio  
Programa de Pós-graduação em Metrologia / PUC-Rio

Eng. Valter Yoshihiko Aibe

INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial)

Rio de Janeiro,  
outubro de 2006



**Walace Ferreira de Arantes**

## **Avaliação metrológica da comparação interlaboratorial da calibração de medidores ultra-sônicos.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Metrologia do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora e homologada pela Coordenação Setorial de Pós-Graduação, formalizado pelas respectivas assinaturas.

### **Comissão Examinadora:**

**Prof. Alcir de Faro Orlando**

Orientador

Departamento de Engenharia Mecânica / PUC-Rio  
Programa de Pós-graduação em Metrologia / PUC-Rio  
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

**Eng. Valter Yoshihiko Aibe**

Co-orientador

INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia e Qualidade Industrial)

**Prof. Maurício Nogueira Frola**

Programa de Pós-graduação em Metrologia / PUC-Rio  
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

**Eng. Sidney Stuckenbruck**

Olympus Software Científico e Engenharia Ltda.

**Prof. Washington Braga Filho**

Departamento de Engenharia Mecânica (DEM / PUC-Rio  
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

### **Coordenação Setorial de Pós-Graduação:**

**Prof. José Eugênio Leal**

Coordenador Setorial de Pós-Graduação do  
Centro Técnico Científico (PUC-Rio)

Rio de Janeiro, 17 de outubro de 2006.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Walace Ferreira de Arantes**

Graduado em Engenharia Mecânica pela F.T.E. Souza Marques, em 1994. Engenheiro atuando na Gestão da Qualidade, de 1994 a 1997 da empresa Termolite Ltda. Gerente da Qualidade de 1999 a 2000 na empresa Valeq — Válvulas e Equipamentos Ind. Ltda., e como Engenheiro de Equipamentos, a partir de 2001, na Unidade de Negócios da Bacia de Campos / Petrobras

#### Ficha Catalográfica

Arantes, Wallace Ferreira de

Avaliação metrológica da comparação interlaboratorial da calibração de medidores ultra-sônicos / Wallace Ferreira de Arantes ; orientadores: Alcir de Faro Orlando, Valter Yoshihiko Aibe. - 2007.

142 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Metrologia para Qualidade e Inovação) — Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

Inclui bibliografia

1. Metrologia – Teses. 2. Medição. 3. Tempo de trânsito. 4. Sistema de medição. 5. Sistema de calibração. 6. Petróleo. I. Orlando, Alcir de Faro. II. Aibe, Valter Yoshihiko. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Metrologia para Qualidade Industrial. VI. Título.

CDD: 389.1

Dedico este trabalho a minha esposa Dolores pela compreensão e paciência durante todo período do curso e a minha filhinha Vitória, que é um verdadeiro presente de Deus.

## Agradecimentos

A Deus pela realização desta obra e de um sonho.

Aos meus pais que sempre me deram o apoio necessário para eu estudar.

Aos meus amigos Marcelo Almeida e Sebastião da Rosa pelas orações intercessórias.

Ao Grupo de Medição da UN-BC e demais colegas da Petrobras que prestaram uma grande contribuição.

À Petrobras pelo incentivo ao desenvolvimento profissional e às empresas participantes, que cederam suas instalações para realização dos trabalhos experimentais.

Ao professor Alcir, por acreditar na proposta e ser um grande incentivador.

Ao Engenheiro Valter Aibe, do INMETRO, por participar na fase experimental e final da pesquisa.

Ao professor Maurício Frota, que sempre esteve atento às demandas do curso.

Aos mestrandos de Metrologia.

E por fim, aos componentes da banca que deram suas contribuições para melhoria deste trabalho e pela participação dos mesmos nesse momento tão importante da minha vida.

## Resumo

Arantes, Wallace Ferreira; Orlando, Alcir de Faro. **Avaliação metrológica da comparação interlaboratorial da calibração de medidores ultra-sônicos**. Rio de Janeiro, 2006. 142p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Metrologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O presente trabalho refere-se à avaliação metrológica de um mesmo medidor ultra-sônico de vazão de líquido pelo método de tempo de trânsito, quando instalado em dois sistemas distintos de calibração, pertencentes, respectivamente, a dois laboratórios acreditados, ambos operando em conformidade com as especificações técnicas de instalação do fabricante e segundo os requisitos mínimos especificados em normas e recomendações internacionais. A pesquisa investigou o efeito na calibração introduzido por uma válvula e uma curva longa de 90° instaladas imediatamente à montante do trecho reto de medição, que tem o seu comprimento atendendo as condições mínimas especificadas nas normas aplicáveis. Concluiu-se pela necessidade de se utilizar pelo menos 40 diâmetros nominais (40 DN) de comprimento de trecho reto, para que a influência da presença da válvula e da curva longa possa ser considerada desprezível. O desenvolvimento do presente trabalho foi motivado pela crescente aplicação de medidores ultra-sônicos de vazão na indústria de petróleo e pela urgente necessidade de se contribuir para o avanço do conhecimento desta tecnologia e da normalização aplicável. Nesse sentido, o presente trabalho contribui:

- (i) para o melhor entendimento da tecnologia de medição e do processo de calibração de medidores ultra-sônicos de vazão de líquidos;
- (ii) para o avanço da normalização no setor, uma vez que inclui uma análise crítica de requisitos mínimos normalizados;
- (iii) para aprimoramento dos critérios de acreditação de laboratórios que realizam a calibração de medidores de vazão, já que avaliou desvios de calibração ocorridos em distintas instalações em conformidade com as normas aplicáveis.

## Palavras-chave

Metrologia; medição; tempo de trânsito; sistema de medição; sistema de calibração; petróleo.

## Abstract

Arantes, Wallace Ferreira; Orlando, Alcir de Faro. **Metrological evaluation of the interlaboratorial comparison of the ultrasonic flow meter calibration.** Rio de Janeiro, 2006. 142p. M.Sc. Dissertation – Graduate Metrology. MQI. Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro, Brazil.

This work deals with the metrological evaluation of the same ultrasonic flow meter by the transit time method, when installed in two different calibrating systems, belonging, respectively, to two accredited laboratories, both operating according to the manufacture's installation technical specification, and following the minimum requirements, as specified in international standards and recommendations. The research investigated the effect in calibration due to the installation of a valve and a long 90° curve, immediately upstream of the measurement test section, with its length dimensioned according to the minimum requirements of the applicable standards. It was concluded that a longer straight sections (at least 40 diameters) should be specified, so that the influence of the installation of the valve and the curve could be neglected. The development of the present work was motivated by the growing utilization of ultrasonic flow meters by the oil industry, and by the urgent need to contribute to the advance of the technology and the applicable standardization. In this aspect, this work contributes to:

- (i) a better understanding of the measurement technology and of the procedure of ultrasonic liquids flow meters;
- (ii) the advance of the technology standardization, since it includes a critical analysis of the minimum requirements, as specified by the standards;
- (iii) improving the laboratory accreditation criteria for flow meter calibration, because the influence of the installation in the calibration was experimentally shown.

## Key-words

Metrology; measurement; time of transit; measurement system; calibration system; petroleum.

## Sumário

1	Introdução	19
1.1	O papel da Metrologia como estratégia de competitividade	20
1.2	Legislação aplicável à medição de petróleo	21
1.2.1	Portaria Conjunta No 1, de 19 de Junho de 2000. (ANP / INMETRO)	22
1.2.2	Portaria INMETRO N° 064, de 11 de abril de 2003	22
1.2.3	Portaria INMETRO N° 234, de 12 de Agosto de 2003	23
1.2.4	Lei No 9.847, de 26 de Outubro de 1999	23
1.2.5	Lei No 9.478, de 6 de Agosto de 1997	23
1.3	Recomendação internacional aplicável à medição de petróleo	24
1.4	Impactos decorrentes da legislação de petróleo	24
1.5	O estado da arte	25
1.6	Motivação para desenvolvimento do presente trabalho	34
1.7	Objetivos	36
1.8	Estruturação	37
2	Fundamentos teóricos	38
2.1	Princípio geral de medição de vazão por ultra-som	38
2.1.1	Tipos de medição de vazão por ultra-som	38
2.1.1.1	Medição por ultra-som — efeito Doppler	39
2.1.1.2	Medição por ultra-som — correlação cruzada	40
2.1.1.3	Medição por ultra-som — tempo de trânsito	41
2.1.2	Geração dos sinais ultra-sônicos	42
2.1.3	Concepções e arranjos do medidor	43
2.1.4	Arranjo de transdutor ultra-sônico	44
2.1.4.1	Arranjo de trajetória única	45
2.1.4.2	Cálculo da vazão usando trajetória simples	46
2.1.4.3	Arranjo de trajetória múltipla	47
2.1.4.4	Cálculo da vazão usando trajetórias múltiplas	48



2.2	Medição ultra-sônica de vazão pelo método de tempo de trânsito	48
2.2.1	Princípio de medição ultra-sônica por tempo de trânsito	49
2.2.1.1	Medidor de vazão ultra-sônico — definição	51
2.2.1.2	Totalizador de vazão — definição	51
2.2.2	Método da diferença de tempo de trânsito	51
2.2.2.1	Método do tempo de trânsito direto	52
2.2.2.2	Método da Frequência de repetição do pulso (“Sing-around”)	53
2.2.2.3	Métodos de Deslocamento de Fase	53
2.2.2.3.1	Método “Diferença de Fase”	53
2.2.2.3.2	Método “Controle de Fase”	54
2.2.3	Cálculo da vazão volumétrica ( $q_v$ ) utilizando arranjo de trajetórias diametrais	55
2.2.4	Cálculo da vazão volumétrica ( $q_v$ ) utilizando arranjo multi-trajetórias em planos paralelos	56
2.3	Fatores que influenciam na exatidão e na repetitividade de medidores ultra-sônicos pelo método de tempo de trânsito	57
2.4	Requisitos de instalação	58
2.5	Sistemas de calibração	59
2.5.1	Sistema Tanque provador	59
2.5.2	Sistema com medidor padrão (master meter)	60
2.6	Considerações normativas sobre os sistemas de calibração	61
2.6.1	API MPMS 4.8 — System Prover-Operation of Proving Systems	61
2.6.2	API MPMS 4.5 — System Prover — Master Meter Provers.	62
2.6.3	API MPMS 5.8 — Measurement of Liquid Hydrocarbons by Ultrasonic Flowmeters Using Transit Time Technology	63
3	Desenvolvimento Experimental	64
3.1	Metodologia da pesquisa	64
3.2	Sistemas de calibração	65
3.3	Características do medidor calibrado	67
3.4	Métodos de calibração e de determinação dos resultados	67
3.4.1	Procedimento Experimental utilizado pelo Laboratório A	68
3.4.1.1	Descrição dos Métodos realizados pelo Laboratório A	68
3.4.1.2	Objetivos dos ensaios realizados pelo Laboratório A	70

3.4.1.3 Faixa de vazão calibrada nos Métodos realizados pelo Laboratório A	71
3.4.2 Procedimento Experimental utilizado pelo Laboratório B	71
3.4.3 Descrição dos Métodos realizados pelo Laboratório B	71
4 Análise de resultados	74
4.1 Resultados obtidos no Laboratório A	74
4.2 Resultados obtidos no Laboratório B	82
4.3 Análise global dos resultados	90
4.3.1 Influência de instalações	90
4.3.1.1 Análise dos resultados do Laboratório A, Métodos-1 e 2.	91
4.3.1.2 Análise dos resultados do Laboratório B, Método-3	92
4.3.1.3 Análise dos resultados - Lab. A e Métodos-1 e 2 x Lab. B Método-3	92
4.3.2 Influência do procedimento de calibração	93
4.3.3 Influência do volume provado	94
4.3.3.1 Análise dos resultados do Lab. A Métodos-1 e 2.	94
4.3.3.2 Análise dos resultados – Lab. A Método-2 x Lab. B Método-3	95
4.3.4 Influência do atraso na geração de sinal ( <i>delay</i> )	95
4.3.4.1 Observações relevantes sobre as Fig. 45, 48 e 51	96
4.3.4.2 Observações relevantes sobre as Fig. 46, 49 e 52	96
4.3.4.3 Observações relevantes sobre as Fig. 47, 50 e 53	97
4.3.5 Outras observações relevantes	97
5 Conclusões e recomendações	98
5.1 Conclusões	98
5.2 Recomendações	99
5.3 Sugestões para futuros trabalhos	100
6 Referências bibliográficas	101
Apêndice – Fundamentos da Medição de Vazão	102
Fundamentos da medição de vazão	102
Regime de escoamento	104
Velocidade média — conceito	105

Sistemas de medição de vazão	108
Medidores para a indústria do petróleo	110
Medidor de deslocamento positivo (DP)	110
Medidor do tipo disco de natação	111
Medidor do tipo paleta rotativa e deslizante	111
Medidores de lóbulos rotativos e engrenagens	113
Medidor ultra-sônico	113
Cenário mundial da medição de vazão por ultra-som	114
Anexo 1 — Dados da calibração no Laboratório B, pelo Método-4 período 0 a 177 s	115
Anexo 2 — Dados da calibração no Laboratório B, pelo Método-4 período 24,5 a 162,5 s.	123
Anexo 3 — Dados da calibração no Laboratório B, pelo Método-4 período 0 a 102 s	129
Anexo 4 — Dados da calibração no Laboratório B, pelo Método-4 período 33,5 a 89 s	134
Anexo 5 — Dados da calibração no Laboratório B, pelo Método-4 período 0 a 84 s	137
Anexo 6 — Dados da calibração no Laboratório B, pelo Método-4 período 22,5 a 58,5 s	141

## Lista de tabelas

Tabela 1 — Estimativa do desvio padrão para uma série de calibração	63
Tabela 2 — Objetivos dos testes realizados pelo Método-1 e pelo Método-2 no Laboratório A	70
Tabela 3 — Condições dos ensaios no Laboratório A	71
Tabela 4 — Erros relativos (%) dos ensaios no Laboratório A.	75
Tabela 5 — Repetitividade (%) dos ensaios no Laboratório A.	75
Tabela 6 — Erro x Vazão Nominal obtidos no Lab. B, Método-3	82
Tabela 7 — Repetitividade x Vazão Nominal obtidos no Lab. B, Método-3	82
Tabela 8 — Erros total e parcial na vazão nominal de 300 m <sup>3</sup> /h	86
Tabela 9 — Erros total e parcial na vazão nominal de 400 m <sup>3</sup> /h	88
Tabela 10 — Erros total e parcial na vazão nominal de 500 m <sup>3</sup> /h	90
Tabela 11 — Dados comparativos dos principais medidores de vazão — caracterização do fluido	103
Tabela 12 — Dados comparativos dos principais medidores de vazão — especificações e requisitos de instalação	103
Tabela 13 — Dados comparativos dos principais medidores de vazão — economicidade, vantagens e desvantagens.	104
Tabela 14 — Dados do período de 0 a 177 segundos na 2ª corrida de 300 m <sup>3</sup> /h (13/07/06)	115
Tabela 15 — Dados da calibração no Laboratório B, pelo Método-4, do período de 24,5 a 162,5 segundos na 2ª corrida de 300 m <sup>3</sup> /h (13/07/06)	123
Tabela 16 — Dados da calibração no Laboratório B, pelo Método-4, do período de 0 a 102,0 segundos na 1ª corrida de 400 m <sup>3</sup> /h.	129
Tabela 17 — Dados da calibração no Laboratório B, pelo Método-4, do período de 33,5 a 89,5 segundos na 1ª corrida de 400 m <sup>3</sup> /h	134
Tabela 18 — Dados da calibração no Laboratório B, pelo Método-4, do período de 0 a 84,0 segundos na 1ª corrida com vazão nominal de 500 m <sup>3</sup> /h	137
Tabela 19 — Dados da calibração no Laboratório B, pelo Método-4, no período de 22,5 a 58,5 segundos na 1ª corrida com vazão nominal de 500 m <sup>3</sup> /h	141

## Lista de Figuras

Figura 1— Estimativa do impacto econômico devido a erros na medição de petróleo	25
Figura 2 — Mercado mundial de medidores utilizados para medição de líquido e gás (Fonte:Emerson Process).	26
Figura 3a — Trecho reto à montante com 20 diâmetros e com retificador de fluxo	27
Figura 3b — Trecho reto à montante com 20 diâmetros e sem retificador de fluxo	27
Figura 3c — Trecho reto à montante com 10 diâmetros e com retificador de fluxo	27
Figura 3d — Trecho reto à montante com 10 diâmetros e sem retificador de fluxo	28
Figura 3e — Configuração típica de um sistema de medição fiscal (switchback)	28
Figura 4 — teste básico no medidor ultra-sônico	29
Figura 5 — Efeito de instalação com redução no medidor e com retificador de fluxo	30
Figura 6 — Efeito de instalação com redução no medidor e sem retificador de fluxo	30
Figura 7 — Efeito de instalação com acidentes a montador do medidor e com retificador de fluxo	31
Figura 8 — Efeito de instalação com acidente de montador do medidor e sem retificador de fluxo	31
Figura 9 — Volume provado x tamanho do medidor	32
Figura 10 — Perfil de fluxo e desvio padrão da velocidade de cada trajetória	33
Figura 11 — Perfil de fluxo após a remoção da obstrução	33
Figura 12 — Efeitos da partida (início) de calibração - antes e depois do provador instalado à montante do trecho reto de medição.	34
Figura 13 — Diferenças de erros relativos entre laboratórios	36
Figura 14 — Princípio de Funcionamento dos Medidores Tipo Doppler	39

Figura 15 — Diagrama esquemático de um medidor ultra-sônico por correlação cruzada	40
Figura 16 — Princípio de funcionamento dos medidores tipo tempo de trânsito	41
Figura 17 — Configuração de um transdutor piezoelétrico.	42
Figura 18 — Padrão do feixe medido de um transdutor com diâmetro de saída de 2 cm em uma frequência de operação de 162 kHz.	43
Figura 19a — Transdutor em contato com o fluido (retraído)	44
Figura 19b — transdutor em contato com o fluido (faceado)	44
Figura 19c — transdutor montado do lado externo do tubo (arranjo clamp-on)	44
Figura 19d — transdutor intrusivo no fluxo	45
Figura 20a — Transmissão direta	45
Figura 20b — Transmissão indireta (refletida na parede do tubo: trajetória em “V”)	45
Figura 20c — Transmissão indireta (refletida na parede do tubo: trajetória em “W”)	46
Figura 20d — Diâmetro inclinado	46
Figura 20e — Corda inclinada	46
Figura 20f — Transdutores montados axialmente	46
Figura 21a — Plano único	47
Figura 21b — Cruzado simétrico	47
Figura 21c — Cruzado assimétrico	48
Figura 21d — Par casado	48
Figura 22 — Medição ultra-sônica pelo método de tempo de trânsito	49
Figura 23 — Configuração do tipo feixes paralelos	50
Figura 24 — Configuração matricial de trajetórias acústicas	51
Figura 25 — Fases dos sinais ultra-sônicos a montante e a jusante	54
Figura 26 — Valor aproximado para $k_h$ em função de $Re_D$	57
Figura 27 — Tanque provador do tipo aberto	60
Figura 28 — Sistema típico com medidor padrão (master meter).	62
Figura 29 — Sistema de calibração do Laboratório A	66
Figura 30 — Sistema de calibração do Laboratório B	66
Figura 31 — Erro x vazão nominal no Ensaio C1T1	76
Figura 32 — Repetitividade x vazão nominal no ensaio C1T1	76

Figura 33 — Erro x vazão nominal no ensaio C2T1	77
Figura 34 — Repetitividade x vazão nominal no ensaio C2T1	77
Figura 35 — Erro x vazão nominal no ensaio C2T2	78
Figura 36 — Repetitividade x vazão nominal no ensaio C2T2	78
Figura 37 — Erro x Vazão nominal no ensaio C2T3	79
Figura 38 — Repetitividade x Vazão nominal no ensaio C2T3	79
Figura 39 — Erro (%) x vazão nominal no ensaio C2T4	80
Figura 40 — Repetitividade (%) x vazão nominal no ensaio C2T4	80
Figura 41 — Perfil de escoamento no início de um ensaio partindo do fluido em repouso	81
Figura 42 — Perfil de escoamento durante a corrida com vazão estabilizada.	82
Figura 43 — Resultados de Erro x Vazão Nominal obtidos no Laboratório B, Método-3	83
Figura 44 — Repetitividade x vazão nominal no Laboratório B, Método-3	83
Figura 45 — Influência do atraso na geração de pulsos do medidor ultra-sônico, na vazão nominal de 300 m <sup>3</sup> /h.	85
Figura 46 — Influência da escolha do período de contagem de pulsos do medidor ultra-sônico no erro de medição, na vazão nominal de 300 m <sup>3</sup> /h.	85
Figura 47 — Influência no erro de medição com <i>delay</i> e sem <i>delay</i> , na vazão nominal de 300 m <sup>3</sup> /h.	86
Figura 48 — Influência do atraso na geração de pulsos do medidor ultra-sônico no erro de medição, na vazão nominal de 400 m <sup>3</sup> /h.	87
Figura 49 — Influência da escolha do período de contagem de pulsos do medidor ultra-sônico no erro de medição, na vazão nominal de 400 m <sup>3</sup> /h	87
Figura 50 — Influência no erro de medição, com <i>delay</i> e sem <i>delay</i> , na vazão nominal de 400 m <sup>3</sup> /h	88
Figura 51 — Influência do atraso na geração de pulsos do medidor ultra-sônico no erro de medição, na vazão nominal de 500 m <sup>3</sup> /h.	89
Figura 52 — Influência da escolha do período de contagem de pulsos do medidor ultra-sônico no erro de medição, na vazão nominal de 500 m <sup>3</sup> /h	89
Figura 53 — Influência no erro de medição, com <i>delay</i> e sem <i>delay</i> , na vazão nominal de 500 m <sup>3</sup> /h.	90
Figura 54 — Perfil de escoamento em regimes laminar e turbulento	106

Figura 55 — Relação $V_m / V_c$ em função do número de Reynolds	107
Figura 56 — Arquitetura típica de um sistema de medição de petróleo em linha	109
Figura 57 — Medidor do tipo disco de natação	111
Figura 58 — Medidor de palhetas rotativas deslizante	112
Figura 59 — Medidor de palhetas rotativas com volume constante	112



## Lista de símbolos

Símbolos	Descrição	Unidade SI
A	Área da seção transversal	m <sup>2</sup>
c	Velocidade de propagação do fluido escoando	m/s
c <sub>o</sub>	Velocidade do som no fluido em repouso	m/s
D	Diâmetro interno da tubulação	m
d	Distância de influência	m
f	Frequência	s <sup>-1</sup>
f <sub>r</sub>	Frequência Doppler defasada	Hz
f <sub>t</sub>	Frequência transmitida	Hz
i	Inteiro	adimensional
K <sub>c</sub>	Coeficiente adimensional ou n° crítico de Reynolds	adimensional
k <sub>h</sub>	Fator de correção da distribuição de velocidade	adimensional
L	Comprimento de influência	m
L <sub>p</sub>	Comprimento da trajetória	m
m	Inteiro	adimensional
n	Inteiros (1,2,3,...)	adimensional
q <sub>v</sub>	Vazão volumétrica	m <sup>3</sup> /s
Re <sub>D</sub>	Número de Reynolds (relacionado a D)	adimensional
t	Tempo de trânsito	s
v	Velocidade da descontinuidade em relação ao eixo	m/s
V	Velocidade local do fluido	m/s
V <sub>cr</sub>	Velocidade crítica	m/s
$\bar{v}$	Velocidade média do fluido ao longo da trajetória acústica	m/s
$\bar{v}_a$	Velocidade média axial do fluido	m/s
w <sub>i</sub>	Peso de medição	

Símbolos gregos	Descrição	Unidade SI
$\gamma$	Ângulo de fase	rad
$\phi$	Ângulo de inclinação	rad
$\theta_r$	Ângulo de recepção	rad
$\theta_t$	Ângulo de transmissão	rad
$\lambda$	Comprimento de onda de uma oscilação ultra-sônica	m
$\Delta t$	Diferença de tempo de trânsito	s
$\omega$	Frequência Cíclica	rad s <sup>-1</sup>
$\delta_f$	Intensidade de ultra-som	Hz
$\rho$	Massa específica do fluido	kg/m <sup>3</sup>
$\tau$	Tempo de integração	s
$\nu$	Viscosidade cinemática	m <sup>2</sup> /s

## Nomenclaturas

AGA	<i>American Gas Association</i> (Washington, DC, EUA)
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (Brasil)
API	<i>American Petroleum Institute</i> , (Washington, DC, EUA)
API MPMS	<i>Manual Petroleum Measurement System</i>
CB-04	Comitê Brasileiro de Máquinas e Equipamentos Mecânicos (Associação Brasileira de Normas Técnicas, Brasil).
EMED	Estação de medição composta, em geral, por elementos primários e secundários de medição.
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Brasil).
MUS	Medidor ultra-sônico
NEL	<i>National Engineering Laboratory</i> (Escócia)
NMi	<i>Nederlands Meetinstituut</i> (Holanda)
OIML	<i>The International Organization of Legal Metrology</i> (França)
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S/A
PUC-Rio	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (Brasil)
RBC	Rede Brasileira de Calibração
RTM	Regulamento Técnico de Medição de Petróleo e Gás Natural
SI	Sistema Internacional de Unidades
SPSE	<i>Societe Du Pipeline Sud Europeen</i> (França)
UN-BC	Unidade de Negócios da Bacia de Campos, Petrobras (Brasil)
UN-Rio	Unidade de Negócios do Rio de Janeiro, Petrobras (Brasil)
VIM	Vocabulário Internacional de Metrologia