



**José Alfredo Pinheiro Gomes Ferreira**

**A experiência brasileira no controle metrológico  
de sistemas de medição de vazão face à quebra  
do monopólio de petróleo**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Metrologia. Área de Concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação da PUC-Rio

Orientador: Prof. Mauricio Nogueira Frota, PhD

Rio de Janeiro  
Abril de 2008



**José Alfredo Pinheiro Gomes Ferreira**

**A experiência brasileira no controle metrológico  
de sistemas de medição de vazão face à quebra  
do monopólio de petróleo**

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 abaixo assinada.

**Prof. Mauricio Nogueira Frota, PhD**

Orientador

Programa de Pós-Graduação em Metrologia

PósMQI - PUC-Rio

**Prof. Maria Fatima Ludovico de Almeida, Dra.**

PósMQI - PUC-Rio

**Prof. Elisabeth Costa Monteiro, Dra.**

PósMQI - PUC-Rio

**Prof. Engº Sérgio Fonseca Cândido, MSc.**

Centro de Pesquisa da Petrobras (CENPES)

**Prof. José Eugenio Leal, Dr.**

Coordenador Setorial de Pós-Graduação do Centro Técnico

Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 14 de Abril de 2008

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

### **José Alfredo Pinheiro Gomes Ferreira**

Engenheiro Mecânico (1993) e Pós-Graduado em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas (2004). Professor Titular das disciplinas de Manutenção Industrial e Gerenciamento de Projetos no curso de Gestão de Petróleo e Gás Natural da Universidade Estácio de Sá, *campus* Macaé, 2004-05. Coordenador do curso de Petróleo e Gás Natural da Universidade Estácio de Sá, *campus* Cabo Frio (2006). Engenheiro de Equipamentos da Petrobrás desde 2001, exercendo os seguintes cargos: Engenheiro de Equipamentos (2001-02), Gerente de Contratos (2002-06), Gerente de Projetos (2003-06) e Gerente Setorial de Manutenção e Inspeção (desde 2006).

#### Ficha Catalográfica

Ferreira, José Alfredo Pinheiro Gomes

A experiência brasileira no controle metrológico de sistemas de medição de vazão face à quebra do monopólio de petróleo / José Alfredo Pinheiro Gomes Ferreira; orientador: Mauricio Nogueira Frota, PhD. – 2008.

181 f.: il. (color.); 30 cm

Dissertação (Mestrado em Metrologia para a Qualidade e Inovação) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Inclui bibliografia.

1. Metrologia – Teses. 2. Metrologia. 3. Tecnologia de medição. 4. Vazão de petróleo e gás natural. 5. Demandas Metrológicas. 6. Especificação de medidores de vazão. 7. Petróleo e gás natural. I. Frota, Mauricio Nogueira. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Metrologia para a Qualidade e Inovação. III. Título.

CDD: 389.1

## Agradecimentos

A Deus pelo dom da vida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Metrologia para Qualidade e Inovação da PUC-Rio, pela oportunidade de desenvolvimento profissional e pelo ambiente favorável à formulação de pesquisa e desenvolvimento de interesse do setor de petróleo e gás natural.

Ao Professor Maurício Nogueira Frota —Coordenador do PósMQI—, pela motivação e inteligente orientação.

Aos Professores integrantes da banca examinadora pela avaliação deste trabalho.

Aos colegas do PósMQI, pela solidariedade e pela paciência durante os trabalhos em grupo.

Aos meus pais, porque souberam ensinar que somente o conhecimento não pode ser furtado e é capaz de transformar o homem.

À minha família, pela compreensão e abdicção de momentos de lazer em função desse sonho realizado.

Aos meus gerentes na Petrobras, pela confiança depositada nas minhas ações e decisões mesmo não podendo estar presente em vários momentos.

À Petrobras, pela oportunidade, confiança, estímulo e por viabilizar essa capacitação, não somente para aplicação em meu trabalho diário, mas também para minha realização profissional e pessoal, mesmo sendo ainda tão recém chegado aos quadros da empresa.

A todos que souberam perceber o esforço dedicado ao desenvolvimento desta nova etapa do meu desenvolvimento profissional e que, de forma singela, nele acreditaram.

Ao engenheiro Carlos Eduardo Barateiro pelo compartilhamento de seus conhecimentos e acesso ao acervo técnico de informações, que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Jaime e Epifanio Mamani Ticona, pelo apoio técnico no desenvolvimento das interfaces para o L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X, tornando esta a primeira dissertação do PósMqi redigida neste sistema.

Ao Professor Rui Pitanga Marques da Silva, pela contribuição na revisão nos prexiais deste trabalho.

À secretária do PósMQI, Marcia Ribeiro e sua equipe de apoio, por manter um ambiente de excelência na gestão administrativa.

Muito obrigado.

### **Homenagem especial, In Memoriam**

Ao meu irmão Jorge Pinheiro Neves, que foi o meu mentor para ingressar na área da engenharia, incentivador deste trabalho, amigo, muitas vezes meu pai e algumas meu filho.

Minha eterna saudade e admiração.

## Resumo

Ferreira, José Alfredo Pinheiro Gomes; Frota, Mauricio Nogueira. **A experiência brasileira no controle metrológico de sistemas de medição de vazão face à quebra do monopólio de petróleo.** Rio de Janeiro, 2008. 181p. Dissertação de Mestrado — Programa de Pós Graduação em Metrologia. Área de Concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A quebra do monopólio na exploração do petróleo em território brasileiro passou a exigir maior controle metrológico dos sistemas de medição aplicados ao setor. O **objetivo** da presente pesquisa de mestrado em metrologia relaciona-se à caracterização das demandas qualificadas por serviços de metrologia. A **motivação** para desenvolvimento do trabalho tem origem na entrada em vigor da Portaria Conjunta nº 1 ANP-INMETRO, que promoveu estudos e pesquisas relacionados à ciência das medições e incentivou uma nova cultura de medição no Brasil. O trabalho se desenvolveu no **contexto** do aumento da demanda por petróleo no mundo —reflexo do crescimento acelerado das economias de países emergentes e com impacto no preço desta commodity— o que passou a requerer sistemas de medição com baixos níveis de incerteza e maior exatidão. A **metodologia** utilizada inclui: (i) análise do ambiente de exploração e produção de petróleo e gás natural no Brasil; (ii) estudo da legislação aplicável e (iii) identificação das tecnologias de medição e das melhores práticas internacionais de medição de vazão. Como **resultado** foram identificadas as demandas por metrologia consideradas mais relevantes baseadas na experiência de medição da Petrobrás, notadamente da sua Unidade de Negócios da Bacia de Campos (UNBC). A partir da percepção das demandas identificadas, o trabalho propõe uma sistemática para identificar tipos de tecnologias de medição e de medidores adequados às necessidades metrológicas do setor de petróleo e gás natural visando nortear estudos de viabilidade técnica e econômica. O trabalho contribuiu para o avanço do entendimento da legislação e do conhecimento da medição no setor de petróleo e gás e hoje já subsidia a Petrobras no equacionamento da compatibilização da oferta com a demanda de serviços. Como **conclusão** sinaliza a vulnerabilidade metrológica no setor.

## Palavras-chave

Metrologia. Tecnologia de medição. Vazão de petróleo e gás natural. Demandas Metrológicas. Especificação de medidores de vazão. Petróleo e gás natural.

## Abstract

Ferreira, José Alfredo Pinheiro Gomes; Frota, Mauricio Nogueira. **Impact of the breaking of the oil monopoly regime in the metrological control of measurement systems**. Rio de Janeiro, 2008. 181p. MsC Thesis — Pos-graduation Program in Metrology. Concentration area: Metrology for quality and innovation. Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro.

The breakup of the monopoly of crude oil exploration in Brazil has led to the need for a better assessment of measurement instruments. Brazil, which recently announced massive oil finds —the largest discovery in the West Hemisphere in the last three decades—, requires better national metrology infrastructure. The **objective** of this M.Sc. dissertation is to characterize qualified demands for basic metrology services. And its **motivation** stems from a new bill (Portaria Conjunta ANP-INMETRO) that prompted research and development programmes in the realm of metrology and gave rise to a new culture of measurement in Brazil. The research work was carried out in the **context** of a sharp increase in oil demand —particularly from India and China— in recent years. High oil prices driven by rising demand now call for measuring devices with low level of measurement uncertainty and greater accuracy. The **methodology** used included: (i) the analysis of oil and gas exploration environment in Brazil, (ii) the study of applicable legislation and (iii) the application of international best practices in flow measurement. Relevant metrology demands were identified —this was the major **result** of the research project— based on Petrobras's own experience, notably from its Business Unit in the Campos Basin, in the state of Rio de Janeiro. The work suggest a procedure to identify the various types of measuring schemes and meters most adequate for the oil industry and contributes to a better understanding of the applicable legislation. In addition, it helps Petrobras to balance supply and demand for metrology services. As a **conclusion**, the work highlights the vulnerability of metrology in the sector.

## Keywords

Metrology. Measurement technology. Measurement flow rate of oil and natural gas. Metrological demands. Technical specification of flow metersTechnical. Oil and natural gas.

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>15</b>
1.1	A medição de petróleo e gás no Brasil: Breve história	15
1.2	A participação do petróleo na matriz energética brasileira	16
1.3	Dependência externa	18
1.4	O papel da metrologia na medição de petróleo e gás	18
1.5	Legislação aplicável ao setor de petróleo e gás	20
1.6	Conceitos e definições	21
1.7	Sistema de unidades	25
1.8	Tecnologias de Medição	25
1.9	Objetivos do Trabalho	27
1.10	Metodologia	28
1.11	Estrutura do Trabalho	29
<b>2</b>	<b>Participação governamental na produção de petróleo e gás</b>	<b>32</b>
2.1	O papel do governo	32
2.2	A aplicação das participações governamentais	34
2.2.1	Bônus de assinatura	34
2.2.2	Pagamento pela ocupação ou retenção de área	35
2.2.3	Participação especial	35
<b>3</b>	<b>Controle metrológico na medição de vazão de petróleo e gás</b>	<b>38</b>
3.1	Critérios gerais para medição	41
3.2	Variáveis satélites na medição de vazão de petróleo e gás	41
<b>4</b>	<b>Demandas por metrologia na medição de petróleo e gás na UN-BC</b>	<b>45</b>
4.1	Rastreabilidade aos padrões nacionais	48
4.2	Calibração utilizando água como fluido de trabalho	49
4.3	Expansão da infra-estrutura laboratorial nacional	52
4.4	Capacitação de usuários e fornecedores de serviços	52
4.5	Conscientização sobre a relevância da medição	53
<b>5</b>	<b>Caracterização das demandas técnicas na UN-BC</b>	<b>55</b>
5.1	Medição de Gás Natural	56
5.2	Medição de Óleo	59
<b>6</b>	<b>Medidores de vazão para petróleo e gás natural</b>	<b>61</b>
6.1	Medição com Placa de Orifício	63
6.2	Medição por Ultra-som	65
6.3	Medição pela técnica de Coriolis	66
6.4	Medição por micro-turbinas	68
6.5	Medição por dispositivos de Deslocamento Positivo	69
<b>7</b>	<b>Seleção da tecnologia de medição: recomendações</b>	<b>72</b>

<b>8</b>	<b>Conclusões e recomendações</b>	<b>77</b>
8.1	Conclusões	78
8.1.1	Caracterização das demandas	78
8.1.2	Proposição de metodologia prática	79
8.2	Recomendações para desdobramentos futuros do trabalho	79
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>83</b>
<b>A</b>	<b>PORTARIA CONJUNTA nº 1 ANP/INMETRO (2000)</b>	<b>86</b>
<b>B</b>	<b>LEI DO PETRÓLEO (nº 9.478, DE 6.8.1997)</b>	<b>103</b>
<b>C</b>	<b>DRAFT DA PORTARIA INMETRO nº 061, 27.03.2003</b>	<b>118</b>
<b>D</b>	<b>DECRETO nº 1, DE 11.1.1991</b>	<b>154</b>
<b>E</b>	<b>DECRETO nº 2.455, DE 14.1.1998</b>	<b>160</b>
<b>F</b>	<b>LEI nº 7.990, DE 28.12.1989</b>	<b>168</b>
<b>G</b>	<b>DECRETO nº 2.705, DE 3.8.1998 - DOU 4.8.1998</b>	<b>171</b>



## Lista de figuras

1.1	Evolução do preço médio do petróleo ao longo de uma década	16
1.2	Matriz energética mundial	17
1.3	Matriz energética brasileira	17
2.1	Distribuição das participações governamentais	33
3.1	Malha de escoamento do campo de Marlim	39
3.2	Esquema típico de medição em linha de petróleo	44
4.1	Produção Petrobras de óleo, condensado e LGN	46
4.2	Produção Nacional de Óleo, Condensado e LGN	46
4.3	Sistema de Medição Fiscal Típico (Campo de Marlim)	50
4.4	Novo arranjo do sistema de medição fiscal (Campo de Marlim)	50
5.1	Computador de vazão: Esquemático da medição de gás (AGA)	57
5.2	Computador de vazão: Esquemático da medição de óleo (ANP)	60
6.1	Esquemático para medição de vazão utilizando placas de orifício	64
6.2	Componentes de um sistema com placa de orifício	65
6.3	Medidor ultra-sônico e equações utilizadas	66
6.4	Esquemático de funcionamento de um medidor tipo Coriolis	67
6.5	Esquemático de funcionamento de um medidor tipo turbina	68
6.6	Esquemático de um medidor tipo deslocamento positivo	70
6.7	Tipos de medidores por deslocamento positivo	70
7.1	Faixas de vazão típicas para medidores de gás	73
7.2	Faixas de vazão típicas para medidores de óleo	73
7.3	Tecnologias de medição de gás: avaliação econômica	74
7.4	Tecnologias de medição de óleo: comparativo de custos	75
7.5	Tecnologia de medição: fluxograma do processo decisório	75

## Lista de tabelas

1.1	Infra-estruturas laboratoriais de renome para medição de vazão de gás	26
3.1	Requisitos de erros máximos admissíveis por classe de exatidão	43
3.2	Erros máximos admissíveis na medição: requisitos	43
4.1	Rede Brasileira de Calibração: Laboratórios de vazão	51
5.1	Erro máximo admissível para sistemas de medição	58
5.2	Erros máximos admissíveis para instrumentos de medição	58
5.3	Regulamento Técnico de Medição: erros máximos e incertezas	58
7.1	Tecnologia de Medição: incertezas típicas	72
C.1	EMA para sistemas de medição	126
C.2	EMA para módulos	127
C.3	EMA para sistemas de medição - Classes de Exatidão	128
C.4	Determinação do poder calorífico	135

## Siglas e Abreviações

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGA	American Gas Association
API	American Petroleum Institute
ANP	Agência Nacional de Petróleo, e Gás Natural e Biocombustíveis
ANS	Agência Nacional de Saúde
ASTM	American Society for Testing and Materials
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures
BSW ou BS&W	Basic Sediment and Water
CADE	Conselho Administrativo de Direito Econômico
CB	Comite Brasileiro
CBM	Comitê Brasileiro de Metrologia
CBN	Comitê Brasileiro de Normalização
CBR	Comitê Brasileiro de Regulamentação
CNP	Conselho Nacional do Petróleo
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CRF	Código de Regulamentação Federal
CEESI	Colorado Engineering Experiment Station, Inc
CGPM	Conferência Geral de Pesos e Medidas
CIF	Cost, Insurance and Freight
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
Conmetro	Comissão Nacional de Metrologia
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPP	Contratos de Partilha de Produção
CTGAS	Centro Tecnológico do Gás
CV	Computador de Vazão
DAS	Direção e Assessoramento Superior
DDD	Dispositivo Dinâmico de Deslocamento
DDPC	Dispositivo Determinador do Poder Calorífico
DIMEL	Diretoria de Metrologia Legal (INMETRO)
DIS	Draft International Standard
DOU	Diário Oficial da União

DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
DNC	Departamento Nacional de Combustíveis
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
E&P	Exploração de Petróleo
EMA	Erro Máximo Admissível
EMED	Estação de Medição
EMP	Erro Médio Ponderado
FCP	Funções Comissionadas de Petróleo
FG	Função Gratificada
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GN	Gás Natural
GUM	Guia para Expressão da Incerteza de Medição
GAP	Gas Processors Association
GATEWAY	Interface entre as redes dos CV e a rede ethernet de automação
IBP	Instituto Brasileiro do Petróleo
ICP	Inductively Coupled Plasma
IEC	International Electrotechnical Commission
IHM	Interface homem-máquina
IMO	International Maritime Organization
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
Inpm	Instituto Nacional de Pesquisas e Medidas
IP	Índice de Proteção
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
Ilac	International Laboratory Accreditation Cooperation
Ipem	Instituto Estadual de Pesos e Medidas
IPC	International Association for Personnel Certification
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
ISO	International Organization for Standardization
K-LAB	Statoil's Kårstø Metering and Technology Laboratory
LADG	Laboratoire Associé de Débitmétrie Gazeuse
LNE	Laboratoire National D'Essais
LGN	Líquido de Gás Natural
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério das Minas e Energia
MPMS	Manual of Petroleum Measurement Standards
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
NBR	Norma Brasileira voluntária aprovada pela ABNT
NEL	National Engineering Laboratory

NFP	Núcleo de Fiscalização da Medição de Petróleo e Gás Natural
NIE	Norma INMETRO Específica
NIST	National Institute of Standard and Technology
NMI	Netherlands Measurements Institute
OIML	Organização Internacional de Metrologia Legal
Petrobras	Petróleo Brasileiro S.A
PASEP	Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público
PC	Poder Calorífico
PCH	Plataforma de Cherne
PCRP	Plataforma de Carapeba
P&G	Petróleo e Gás Natural
PGP	Plataforma de Garoupa
PIS	Programa de Integração Social
PNA	Plataforma de Namorado
PND	Programa Nacional de Desestatização
PPM	Plataforma de Pampo
PósMQI	Programa de Pós-Graduação em Metrologia para Qualidade e Inovação
PIB	Produto Interno Bruto
PIGSAR	Prüfinstitut für Gaszähler, Ein Service Angebot der Ruhrgas AG
PLC	Controlador lógico programável
PTB	Physikalisch Technische Bundesanstalt
PUC-Rio	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
PVM	Plataforma de Vermelho
PVTt	Pressão, Volume, Temperatura e Tempo
P-YY	Plataforma nº YY
RBC	Rede Brasileira de Calibração
RGO	Razão Gás - Óleo
RS	Razão de solubilidade de gás no óleo
RT	Regulamento Técnico
RTM	Regulamento Técnico de Medição
SI	Sistema Internacional de Unidades
Sinmetro	Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
SIPEC	Sistema de Pessoal Civil da Administração Federal
SS-6	Semi-submersível 6
SWRI	Southwest Research Institute
TCEQ	Council on Environmental Quality

TOG	Teor de óleo e graxas na água descartada
TR	Technical Report
VIM	Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia