



Vanessa Christina Branda Martins de Jesus

**Matriz SWOT modificada para definição da
periodicidade de calibração de instrumentos de medição**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título 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
Co-orientador: Prof. Elcio Cruz Oliveira

Rio de Janeiro
Abril de 2015



Vanessa Christina Branda Martins de Jesus

**Matriz SWOT modificada para definição da periodicidade de
calibração de instrumentos de medição**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação) do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Mauricio Nogueira Frota

Presidente / Orientador

Programa de Pós-Graduação em Metrologia (PUC-Rio)

Prof. Elcio Cruz Oliveira

Co-orientador

Petrobras Transporte S.A.

Prof. Carlos Roberto Hall Barbosa

Programa de Pós-Graduação em Metrologia (PUC-Rio)

Prof. Fernando Luiz Cyrino Oliveira

Departamento de Engenharia Industrial (PUC-Rio)

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 08 de abril de 2015

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

Vanessa Christina Branda Martins de Jesus

Formada em Gestão Empresarial e TI, Universidade Estácio de Sá, Rio de Janeiro, Brasil em 2007.

Ficha Catalográfica

Jesus, Vanessa Christina Branda Martins de

Matriz SWOT modificada para definição da periodicidade de calibração de instrumentos de medição / Vanessa Christina Branda Martins de Jesus ; orientador: Mauricio Nogueira Frota ; co-orientador: Elcio Cruz Oliveira. – 2015.

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

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Metrologia para a Qualidade e Inovação, 2015.

Inclui bibliografia

1. Metrologia – Teses. 2. Gestão. 3. Calibração de transmissores de temperatura e pressão estática. 4. Análise SWOT modificada. 5. Ferramentas estatísticas. 6. Ferramentas de apoio à tomada decisão. I. Frota, Maurício Nogueira. II. Oliveira, Elcio Cruz. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Metrologia. Área de concentração: Metrologia para a Qualidade e Inovação. IV. Título.

CDD: 389.1

Dedico este trabalho em primeiro lugar a Deus, aos meus filhos Cauã e Yasmin, meu marido Marcelo, meus pais e minha irmã. Muito obrigada a todos pelo carinho, paciência, apoio e dedicação.

Agradecimentos

A Deus, por iluminar meus caminhos em todos os momentos.

Aos meus orientadores: Professor Mauricio Nogueira Frota e ao Professor Elcio Cruz de Oliveira, pelo estímulo e parceria para a realização deste trabalho.

A CAPES e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

A meus filhos, marido, pais e irmã pelo carinho e companheirismo.

A minha grande amiga Rosa que nunca me desamparou.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Metrologia para Qualidade e Inovação (PósMQI).

Aos meus colegas de mestrado, pela amizade ao longo do curso, especialmente a: Gisele, José Daniel, Maria de Penha, Iván, Vagner.

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento e a realização deste trabalho.

Resumo

Jesus, Vanessa Christina Branda Martins; Frota, Mauricio Nogueira; Oliveira, Elcio Cruz. **Matriz SWOT modificada para definição da periodicidade de calibração de instrumentos de medição**. Rio de Janeiro, 2015. 93p. 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 comercialização de gás natural no Brasil é realizada em uma base volumétrica. Para garantir a confiabilidade desta medição, é de suma importância se ter um controle metrológico nas grandezas de entrada, pressão estática e temperatura, dentre outros itens. Com vistas a atender a essa demanda, o Regulamento Brasileiro define intervalos fixos para as periodicidades de calibração, mas que podem ser prorrogados usando dados históricos, sem, no entanto especificar a ferramenta estatística para ser usada no estudo. Nesta dissertação, quatro técnicas estatísticas amplamente divulgadas na literatura foram selecionadas a fim de se estabelecer o intervalo de calibração para os transmissores de temperatura e pressão estática em redes de gás natural com medidores ultrassônicos. Sequencialmente, uma ferramenta de apoio à tomada de decisão foi utilizada: análise SWOT modificada, com a ponderação para cada indicador, para definir a ferramenta estatística com maior potencial, sugerindo o novo intervalo de calibração para os casos estudados. Os resultados mostram que, através da Matriz SWOT adaptada, o valor de maior significância refere-se à abordagem de Poisson, pois este método obteve a melhor pontuação, sendo assim a nova periodicidade sugerida para os transmissores de pressão estática e de temperatura é de 322 dias para medição em transferência de custódia, o que ratifica a alteração de 90 para 180 dias, conforme *Resolução Conjunta ANP-Inmetro nº 1/2013*. Para medição operacional, que não está coberta por esta Resolução, este estudo sugere uma periodicidade de 273 dias para estes mesmos transmissores.

Palavras-chave

Metrologia; Gestão; Calibração de transmissores de temperatura e pressão estática; Análise SWOT modificada; Ferramentas estatísticas; Ferramentas de apoio à tomada decisão.

Abstract

Jesus, Vanessa Christina Branda Martins; Frota, Mauricio Nogueira (Advisor); Oliveira, Elcio Cruz (Co-advisor) **Modified SWOT Matrix for defining the calibration periodicity of measuring instruments.** Rio de Janeiro, 2015. 93p. MSc. Dissertation – Programa de Pós-graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The commercialization of natural gas in Brazil is carried out on a volumetric basis. To guarantee reliability of this quantity, it is of paramount importance to have metrological control of static pressure and temperature among other items. With a view to meeting this demand, the Brazilian Regulations defines the fixed interval for calibration, but it may be extended using historical data, without however specifying the statistical tool to be used in the study. In this dissertation, four statistical techniques widely published in literature have been selected to establish the interval of calibration for the temperature and static pressure transmitters in natural gas networks with ultrasonic meters. Sequentially, a tool to support the decision-making was used: modified SWOT analysis with a weighting for each indicator, to define the statistical tool with the greatest potential, suggesting the new calibration interval for the studied cases. The results show that by suitable SWOT matrix, the value of higher significance refers to the Poisson approach because this method achieved the best score, so the new calibration interval suggested for static pressure transmitters and temperature is 322 days for custody transfer, which confirms the change from 90 to 180 days, depending Joint Resolution No. 1/2013 ANP-Inmetro. In relation to operational measurement, which is not covered by this Resolution, this study suggests a calibration interval of 273 days for these transmitters.

Keywords

Metrology; management; calibration intervals; temperature and static pressure transmitters; modified SWOT analysis; statistics and business tools.

Sumário

| | |
|--|----|
| 1 Introdução | 16 |
| 1.1. Definição do problema de pesquisa | 18 |
| 1.2. Objetivos: geral e específicos | 19 |
| 1.3. Motivação | 19 |
| 1.4. Metodologia | 19 |
| 1.5. Estrutura da dissertação | 20 |
| | |
| 2 Legislação aplicável ao controle metrológico e procedimentos de calibração de instrumentos de medição | 21 |
| 2.1 Evolução do controle metrológico de petróleo e gás no País | 21 |
| 2.2 Malha de gás natural com medidor ultrassônico | 22 |
| 2.3 Princípios de funcionamento de transmissores | 23 |
| 2.3.1 Transmissor de temperatura | 26 |
| 2.3.1.1 Termômetros de resistência (RTD) | 27 |
| 2.3.1.2 Sensor Pt100 | 28 |
| 2.3.2 Pressão | 30 |
| 2.3.2.1 Sensores Capacitivos | 31 |
| 2.4 Procedimentos de calibração | 32 |
| | |
| 3 Fundamentos Teóricos | 34 |
| 3.1 Metodologia | 35 |
| 3.1.1 Métodos de revisão dos intervalos de calibração – ferramentas estatísticas | 36 |
| 3.1.1.1 Ajuste do intervalo por deriva | 37 |
| 3.1.1.2 Ajuste com base nas três últimas calibrações (ponderado) | 38 |
| 3.1.1.3 Método de Schumacher | 39 |
| 3.1.1.4 Método Poisson ou abordagem baseada em distribuição preditiva Bayesiana | 41 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 3.1.1.5 | Comparando os métodos estatísticos | 42 |
| 3.1.2 | Ferramenta de apoio à tomada de decisão | 43 |
| 3.1.2.1 | Análise SWOT | 43 |
| 4 | Análise da periodicidade de calibração: resultado e discussão | 48 |
| 4.1 | Características dos instrumentos e inventário dos registros de calibração | 48 |
| 4.1.1 | Processamento dos dados | 50 |
| 4.1.1.1 | Técnicas Estatísticas | 50 |
| 4.1.1.1.1 | Transmissores de temperatura | 50 |
| 4.1.1.1.1.1 | Método deriva | 50 |
| 4.1.1.1.1.2 | Método ponderado | 51 |
| 4.1.1.1.1.3 | Método schumacher | 51 |
| 4.1.1.1.1.4 | Método poisson | 52 |
| 4.1.1.1.2 | Transmissores de Pressão | 53 |
| 4.1.1.1.2.1 | Método Deriva | 53 |
| 4.1.1.1.2.2 | Método Ponderado | 53 |
| 4.1.1.1.2.3 | Método Schumacher | 54 |
| 4.1.1.1.2.4 | Método Poisson | 54 |
| 4.1.1.2 | Ferramenta de apoio à tomada de decisão: Análise SWOT | 56 |
| 4.1.1.3 | Matriz SWOT adaptada | 58 |
| 4.1.1.3.1 | Método Schumacher SWOT Adaptada, atribuição das notas conforme tabelas 7 a 10. | 59 |
| 4.1.1.3.2 | Método Deriva SWOT Adaptada, atribuição das notas conforme tabelas 11 a 14. | 61 |
| 4.1.1.3.3 | Método Ponderado SWOT Adaptada, atribuição das notas conforme tabelas 16 a 19. | 63 |
| 4.1.1.3.4 | Método Poisson SWOT Adaptada, atribuição das notas conforme tabelas 21 a 24. | 65 |
| 4.1.1.4 | Matriz SWOT tradicional | 69 |
| 4.1.1.4.1 | Método Schumacher SWOT TRADICIONAL, | |

| | |
|---|-----------|
| atribuição das notas conforme tabelas 32 a 35. | 70 |
| 4.1.1.4.2 Método Deriva SWOT TRADICIONAL, atribuição das notas conforme tabelas 37 a 40. | 72 |
| 4.1.1.4.3 Método Ponderado SWOT TRADICIONAL, atribuição das notas conforme tabelas 42 a 45. | 74 |
| 4.1.1.4.4 Método Poisson SWOT TRADICIONAL, atribuição das notas conforme tabelas 47 a 49. | 76 |
| 5. Conclusão | 82 |
| 6 Referências Bibliográficas | 84 |
| Apêndice: Artigo publicado na revista Journal of Natural Gas Science and Engineering 2015. | 87 |

Lista de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Medidor de vazão Vortex OPTISWIRL 4070 | 23 |
| Figura 2: Transmissor cego KROHNEa | 24 |
| Figura 3: Medidor analógico de vazão Ramc yokogawa | 24 |
| Figura 4: Medidor digital de vazão EJA110A Yokogaw | 25 |
| Figura 5: Transmissor indicador de pressão CONNECT-JCO da linha TIP-9800 | 25 |
| Figura 6: Transmissor inteligente de pressão Smar LD400 | 26 |
| Figura 7: Representação esquemática de um termômetro de resistência | 27 |
| Figura 8: Conexão a dois fios | 29 |
| Figura 9: Conexão a três fios | 29 |
| Figura 10: Conexão a quatro fios | 30 |
| Figura 11: Terminologia de Calibração | 32 |
| Figura 12: Fluxograma da matriz SWOT | 44 |
| Figura 13: Estrutura hierárquica de priorização da SWOT | 45 |
| Figura 14: Transmissores de temperatura (TT) e de pressão (PT) do terminal Campos Elíseos | 48 |
| Figura 15: Novas periodicidades para os transmissores de temperatura (TT) | 56 |
| Figura 16: Novas periodicidades para os transmissores de pressão estática (PT) | 56 |

Lista de tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Decisão a ser tomada | 40 |
| Tabela 2: Novos períodos de calibração | 41 |
| Tabela 3: Vantagens e deficiências de cada abordagem estatística | 43 |
| Tabela 4: Peso de cada critério com grau de influência sobre a técnica estatística | 58 |
| Tabela 5: Peso aplicado a cada critério avaliado pela Matriz SWOT | 58 |
| Tabela 6: Pontuação atribuída para o grau de influência entre os critérios e cada cruzamento de quadrante | 59 |
| Tabela 7: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto forte vs. Oportunidade | 59 |
| Tabela 8: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto forte vs. Ameaça | 59 |
| Tabela 9: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto fraco vs. Oportunidade | 60 |
| Tabela 10: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto fraco vs. Ameaça | 60 |
| Tabela 11: Matriz SWOT adaptada referente ao método Schumacher | 61 |
| Tabela 12: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto forte vs. Oportunidade | 61 |
| Tabela 13: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto forte vs. Ameaça | 61 |
| Tabela 14: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto fraco vs. Oportunidade | 62 |
| Tabela 15: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto fraco vs. Ameaça | 62 |
| Tabela 16: Matriz SWOT adaptada referente ao método Deriva | 63 |
| Tabela 17: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto forte vs. Oportunidade | 63 |
| Tabela 18: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto forte vs. Ameaça | 64 |
| Tabela 19: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto fraco vs. Oportunidade | 64 |
| Tabela 20: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto fraco vs. Ameaça | 64 |
| Tabela 21: Matriz SWOT adaptada referente ao método Ponderado | 65 |
| Tabela 22: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto forte vs. Oportunidade | 65 |
| Tabela 23: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto forte vs. Ameaça | 66 |
| Tabela 24: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto fraco vs. Oportunidade | 66 |
| Tabela 25: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto fraco vs. Ameaça | 66 |

| | |
|--|----|
| Tabela 26: Matriz SWOT adaptada referente ao método Poisson | 67 |
| Tabela 27: Resultado dos dados calculados pelos quadrantes da Matriz SWOT adaptada, referente ao método Schumacher | 67 |
| Tabela 28: Resultado dos dados calculados pelos quadrantes da Matriz SWOT adaptada, referente ao método Deriva | 68 |
| Tabela 29: Resultado dos dados calculados pelos quadrantes da Matriz SWOT adaptada, referente ao método Ponderado | 68 |
| Tabela 30: Resultado dos dados calculados pelos quadrantes da Matriz SWOT adaptada, referente ao método Poisson | 68 |
| Tabela 31: Peso aplicado a cada critério avaliado pela Matriz SWOT | 69 |
| Tabela 32: Pontuação atribuída para o grau de influência entre os critérios e cada cruzamento de quadrante | 69 |
| Tabela 33: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto forte vs. Oportunidade | 70 |
| Tabela 34: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto forte vs. Ameaça | 70 |
| Tabela 35: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto fraco vs. Oportunidade | 70 |
| Tabela 36: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto fraco vs. Ameaça | 71 |
| Tabela 37: Matriz SWOT tradicional referente ao método Schumacher | 71 |
| Tabela 38: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto forte vs. Oportunidade | 72 |
| Tabela 39: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto forte vs. Ameaça | 72 |
| Tabela 40: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto fraco vs. Oportunidade | 73 |
| Tabela 41: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto fraco vs. Ameaça | 73 |
| Tabela 42: Matriz SWOT tradicional referente ao método Deriva | 73 |
| Tabela 43: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto forte vs. Oportunidade | 74 |
| Tabela 44: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto forte vs. Ameaça | 74 |
| Tabela 45: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto fraco vs. Oportunidade | 75 |
| Tabela 46: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto fraco vs. Ameaça | 75 |
| Tabela 47: Matriz SWOT tradicional referente ao método Ponderado | 75 |
| Tabela 48: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto forte vs. Oportunidade | 76 |
| Tabela 49: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto forte vs. Ameaça | 76 |
| Tabela 50: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto fraco vs. Oportunidade | 77 |
| Tabela 51: Cruzamento entre os quadrantes: Ponto fraco vs. Ameaça | 77 |

| | |
|---|----|
| Tabela 52: Matriz SWOT tradicional referente ao método Poisson | 77 |
| Tabela 53: Resultado dos dados calculados pelos quadrantes da Matriz SWOT tradicional, referente ao método Schumacher | 78 |
| Tabela 54: Resultado dos dados calculados pelos quadrantes da Matriz SWOT tradicional, referente ao método Deriva | 78 |
| Tabela 55: Resultado dos dados calculados pelos quadrantes da Matriz SWOT tradicional, referente ao método Ponderado | 79 |
| Tabela 56: Resultado dos dados calculados pelos quadrantes da Matriz SWOT tradicional, referente ao método Poisson | 79 |

Lista de quadros

| | |
|-------------------------------|----|
| Quadro 1: Opções estratégicas | 44 |
|-------------------------------|----|

Lista de siglas e abreviatura

| | |
|---------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ANP | Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis |
| D.O.U. | Diário Oficial da União |
| GN | Gás Natural |
| IEC | International Electrotechnical Commission |
| ILAC | International Laboratory Accreditation Cooperation |
| INMETRO | Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Metrologia |
| ISO | International Organization for Standardization |
| NBR | Norma brasileira |
| OE | Objetivo estratégico |
| OIML | Organization of Legal Metrology |
| Pabs | Pressão absoluta |
| Pt | Sensor que contém uma termorresistência de platina |
| PT | Pressure transmitter |
| Rc | Resistência |
| Rs | Tensão |
| RTD | Resistance Temperature Detector |
| SI | Sistema Internacional de Unidades |
| SWOT | Forças (Strengths), Fraquezas (Weaknesses), Oportunidades (Opportunities) e Ameaças (Threats). |
| TT | Temperature transmitter |
| VIM | Vocabulário Internacional de Metrologia – Conceitos fundamentais e gerais e termos associados |