



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
IFCE *CAMPUS* FORTALEZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
TELECOMUNICAÇÕES
MESTRADO ACADÊMICO EM ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES

JARDEL ALVES BARROS

**AVALIAÇÃO DE ERROS DE MEDIÇÃO DE PULSOS ELÉTRICOS EM SISTEMAS
DE MEDIÇÃO DE VAZÃO POR MEDIDORES DE DESLOCAMENTO POSITIVO
EM ESTAÇÕES DE GÁS NATURAL: UM ESTUDO DE CASO**

FORTALEZA

2023

JARDEL ALVES BARROS

AVALIAÇÃO DE ERROS DE MEDIÇÃO DE PULSOS ELÉTRICOS EM SISTEMAS DE
MEDIÇÃO DE VAZÃO POR MEDIDORES DE DESLOCAMENTO POSITIVO EM
ESTAÇÕES DE GÁS NATURAL: UM ESTUDO DE CASO

Dissertação apresentada no Curso de Mestrado Acadêmico em Engenharia de Telecomunicações do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnológica do Estado do Ceará (IFCE) – *Campus* Fortaleza, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Telecomunicações. Área de concentração: Processamento de Sinais.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Xavier Gouveia

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI

Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- B277a Barros, Jardel Alves.
 AVALIAÇÃO DE ERROS DE MEDIÇÃO DE PULSOS ELÉTRICOS EM SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE
 VAZÃO POR MEDIDORES DE DESLOCAMENTO POSITIVO EM ESTAÇÕES DE GÁS NATURAL: UM
 ESTUDO DE CASO / Jardel Alves Barros. - 2023.
 101 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Engenharia de Telecomunicações,
 Campus Fortaleza, 2023.
 Orientação: Prof. Dr. .
1. Medição de fluxo. 2. Patologias em sinais. 3. Transmissão de fluxo. I. Título.

CDD 621.382

JARDEL ALVES BARROS

AVALIAÇÃO DE ERROS DE MEDIÇÃO DE PULSOS ELÉTRICOS EM SISTEMAS DE
MEDIÇÃO DE VAZÃO POR MEDIDORES DE DESLOCAMENTO POSITIVO EM
ESTAÇÕES DE GÁS NATURAL: UM ESTUDO DE CASO

Dissertação apresentada no Curso de Mestrado Acadêmico em Engenharia de Telecomunicações do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnológica do Estado do Ceará (IFCE) – *Campus* Fortaleza, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Telecomunicações. Área de concentração: Processamento de Sinais.

Aprovado em: _____/_____/_____.

BANCA EXAMINADORA

30/08/2023, 16:58

SEM/FCE - 5019479 - Ata



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
Av. 13 de maio, 2081, - Bairro Benfica - CEP 60940-531 - Fortaleza - CE - www.ifce.edu.br

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES

Ata de defesa do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Telecomunicações, do Curso de Mestrado Acadêmico em Engenharia de Telecomunicações (PPGET), ofertado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE, apresentado e defendido pelo mestrando **JARDEL ALVES BARROS**.

No dia 21 de junho de 2023, às 14 horas, na sala 207A do Bloco Didático, foi realizada a defesa de dissertação do mestrando **JARDEL ALVES BARROS** sob o título: "AVALIAÇÃO DE ERROS DE MEDIÇÃO DE PULSOS ELÉTRICOS EM SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO POR MEDIDORES DE DESLOCAMENTO POSITIVO EM ESTAÇÕES DE GÁS NATURAL: UM ESTUDO DE CASO". Obedecendo ao disposto no Regulamento do PPGET, a Banca Examinadora foi constituída pelos seguintes professores: Prof. Dr. **Daniel Xavier Gouveia** (orientador) - IFCE Campus Fortaleza, Prof. Dr. Prof. Dr. **Francisco José Alves de Aquino** - IFCE Campus Fortaleza, Prof. Dr. **Glendo de Freitas Guimarães** - IFCE Campus Fortaleza e Prof. Dr. **Antonio Jefferson Mangueira Sales** - UFC.

O professor orientador apresentou o mestrando e os membros da Banca Examinadora bem como explicitou a dinâmica da defesa. Em continuidade, o presidente cedeu a palavra ao mestrando para expor seu trabalho de pesquisa. Uma vez concluída a exposição pelo mestrando, a Banca Examinadora procedeu às avaliações, sendo assegurado ao mestrando o direito de resposta ou de esclarecimento. Continuando o processo, a Banca Examinadora reuniu-se privativamente para emitir o parecer e, sequencialmente, informou ao mestrando que a sua dissertação foi considerada:

(x) aprovada

() reprovada

A Banca Examinadora indicou, ainda, ajustes e procedimentos necessários para a consolidação da pesquisa.

Nada mais havendo a tratar, o presidente da Banca Examinadora lavrou esta Ata de Exame de defesa que, após assinada pelos seus membros, será encaminhada à Coordenação do PPGET/IFCE para registro acadêmico na documentação do mestrando.

Prof. Dr. Daniel Xavier Gouveia - orientador

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Prof. Dr. Francisco José Alves de Aquino

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Prof. Dr. Glendo de Freitas Guimarães

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Prof. Dr. Antonio Jefferson Mangueira Sales

Universidade Federal do Ceará - UFC

Mestrando JARDEL ALVES BARROS

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE



Documento assinado eletronicamente por Daniel Xavier Gouveia, Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico, em 28/06/2023, às 11:29, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.



Documento assinado eletronicamente por Glendo de Freitas Guimarães, Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico, em 23/08/2023, às 16:53, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.



Documento assinado eletronicamente por Francisco José Alves de Aquino, Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico, em 24/08/2023, às 15:35, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.



Documento assinado eletronicamente por ANTONIO JEFFERSON MANGUEIRA SALES, Usuário Externo, em 24/08/2023, às 22:18, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site https://sei.ifce.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 informando o código verificador 5019479 e o código CRC A4E55509.

RESUMO

Esta dissertação teve como objetivo central aprimorar a precisão e confiabilidade do sistema de medição de transferência de custódia nas estações da Companhia de Gás do Ceará (CEGÁS). Por meio da investigação minuciosa e reformulação dos processos de geração, transmissão e captação dos sinais de pulso dos medidores de vazão, buscou-se mitigar as perdas de dados, as falhas de sincronismo e comunicação com os equipamentos de cálculo e correção de volume em energia. Além disso, uma nova configuração de instalação e geração de onda para comunicação e transmissão de dados foi proposta, visando eliminar possíveis falhas na projeção dos volumes a serem retirados diariamente. Os experimentos e análises realizados revelaram que patologias no sistema de medição, causadas por influências de indução e vibrações mecânicas, afetam em torno de 20 a 30% a geração dos sinais de vazão, impactando negativamente as projeções diárias de consumo e, consequentemente, os custos operacionais das companhias de gás natural canalizado. A abordagem adotada resultou em melhorias significativas, reduzindo a necessidade de substituições frequentes de medidores e gerando impactos positivos tanto no faturamento de volume dos usuários quanto na programação precisa de retirada diária junto a fornecedores e transportadoras de gás natural. Este estudo contribuiu para a melhoria tecnológica dos componentes do sistema de medição e incentivou o desenvolvimento de novas linhas de pesquisa e avanços na área de gás, energia e instrumentação, evidenciando o papel crucial da inovação na otimização de processos industriais essenciais para a sociedade.

Palavras-chaves: Medição de fluxo. Patologias em sinais. Transmissão de fluxo.

ABSTRACT

This dissertation aimed to enhance the accuracy and reliability of the custody transfer measurement system in the stations of Companhia de Gás do Ceará (CEGÁS). Through meticulous investigation and reformulation of processes involving the generation, transmission, and capture of pulse signals from flow meters, the goal was to mitigate data losses, synchronization failures, and communication issues with calculation and volume correction equipment. Additionally, a novel configuration for installation and wave generation for data communication and transmission was proposed to eliminate potential flaws in daily volume projections. The conducted experiments and analyses revealed that pathologies within the measurement system, induced by electromagnetic interference and mechanical vibrations, impact the generation of flow signals by approximately 20 to 30%. This adversely affects daily consumption projections, resulting in increased operational costs for natural gas distribution companies. The adopted approach led to significant improvements, reducing the need for frequent meter replacements and yielding positive effects on both user volume billing and precise daily withdrawal scheduling with suppliers and gas transporters. This study contributed to technological enhancements of measurement system components and fostered the development of new research directions and advancements in the fields of gas, energy, and instrumentation. It underscores the pivotal role of innovation in optimizing crucial industrial processes for society.

Keywords: Flow measurement. Pathologies in signals. Flow transmission.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Fluxo da programação de retirada.....	20
Figura 2 -	Quadro resumo do operacional e programação.....	21
Figura 3 -	Definições de tensão e corrente e circuito equivalente para um comprimento incremental de linha de transmissão.....	31
Figura 4 -	Estrutura de uma linha de transmissão de dois condutores.....	32
Figura 5 -	Registro fotográfico da bancada para realização dos experimentos...	45
Figura 6 -	Esquemático de ligação dos instrumentos.....	46
Figura 7 -	Esquema de geração de pulso e formato da onda.....	47
Figura 8 -	Esquema de geração de sinal de vazão.....	47
Figura 9 -	Ímã de neodímio.....	49
Figura 10 -	Motor cc utilizado nas simulações de vibração.....	49
Figura 11 -	Registro de pulsos do medidor padrão (Z), sem perturbação.....	50
Figura 12 -	Registro de pulsos do medidor com perturbação eletromagnética (canais de saída com o mesmo comportamento).....	51
Figura 13 -	Registro de pulsos do medidor com perturbação eletromagnética (canais de saída com o comportamento divergente).....	51
Figura 14 -	Registro de pulsos do medidor com perturbação por vibração.....	52
Figura 15 -	Registro de pulsos do medidor com perturbação por vibração.....	52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 -	Representação gráfica correspondente aos 5 primeiros termos dessa série.....	37
Gráfico 2 -	Resultado para $M=12$, correspondente a função $\sin x/x$	39
Gráfico 3 -	Representação gráfica de três valores de M : 4, 16 e 32.....	40
Gráfico 4 -	Comparação entre os medidores Z e X (sem influências externas).....	54
Gráfico 5 -	Comparação entre os medidores Z e Y (sem influências externas).....	54
Gráfico 6 -	Comparação entre os medidores Z e Y (sem influências externas).....	54
Gráfico 7 -	Comparação entre os medidores Z e X (com influências magnéticas).....	55
Gráfico 8 -	Comparação entre os medidores Z e Y (com influências magnéticas).....	55
Gráfico 9 -	Comparação entre os medidores Z e W (com influências magnéticas)....	55
Gráfico 10 -	Comparação entre os medidores Z e X (com influências por vibração)...	56
Gráfico 11 -	Comparação entre os medidores Z e Y (com influências por vibração)...	56
Gráfico 12 -	Comparação entre os medidores Z e W (com influências por vibração)	56
Gráfico 13 -	Comparação entre os medidores Z e X (com influências da temperatura).....	57
Gráfico 14 -	Comparação entre os medidores Z e Y (com influências da temperatura).....	57
Gráfico 15 -	Comparação entre os medidores Z e W (com influências da temperatura).....	57
Gráfico 16 -	Comparação entre os medidores Z e X (sem influências).....	58
Gráfico 17 -	Comparação entre os medidores Z e Y (sem influências).....	58
Gráfico 18 -	Comparação entre os medidores Z e W (sem influências).....	59
Gráfico 19 -	Comparação entre os medidores Z e X (com influências magnéticas).....	59
Gráfico 20 -	Comparação entre os medidores Z e Y (com influências magnéticas).....	59
Gráfico 21 -	Comparação entre os medidores Z e W (com influências magnéticas)....	60
Gráfico 22 -	Comparação entre os medidores Z e X (com influências por vibração)...	60
Gráfico 23 -	Comparação entre os medidores Z e Y (com influências por vibração)...	60
Gráfico 24 -	Comparação entre os medidores Z e W (com influências por vibração)..	61
Gráfico 25 -	Comparação entre os medidores Z e X (com influências da temperatura).....	61

Gráfico 26 - Comparação entre os medidores Z e Y (com influências da temperatura).....	61
Gráfico 27 - Comparação entre os medidores Z e W (com influências da temperatura).....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Relação entre elementos e sua impedância.....	42
Tabela 2 -	Relação entre elementos e sua admitância.....	43
Tabela 3 -	Esquemático do Experimento.....	45
Tabela 4 -	Matriz de experimentos.....	45
Tabela 5 -	Quadro resumo dos ensaios de bancada.....	53
Tabela 6 -	Resultados Financeiros.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas ROM
ANP	Agência Nacional de Petróleo
AWWA	American Water Works Association
CEGÁS	Companhia de Gás do Ceará
CNTP	condições normais de temperatura e pressão
F.E.M	Força Eletromotriz
FVM	Finite Volume Method
IDE	Integrated Development Enviroment
RH	Constante Hall do material
TBG	Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil
VHALL	Tensão Hall
WFM	Weight Finite Method

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área da secção transversal (m^2)
B	Vetor campo magnético
B	Módulo do campo magnético aplicado
d	Espessura do material
f	Frequência dos pulsos
f	Frequência dos pulsos
h	Horas
i	Modulo corrente conduzida
k	Coefficiente do medidor
m	Metros
m^3	Metros cúbicos
mm	Milímetros
q	Carga do elétron
Q	Vazão mássica(m^3/h)
v	Vetor velocidade da carga q
V	Vazão volumétrica
x	Coordenada x
y	Coordenada y
P	Velocidade (m/h)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	24
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	27
2.1	Gás Natural.....	27
2.2	Processos Industriais.....	29
2.2.1	Nominação de Gás Natural.....	31
2.3	Sinais.....	33
2.4	Tipos de onda.....	36
2.5	Medição de gás.....	38
2.6	Ondas eletromagnéticas.....	39
2.6.1	Reflexão e refração.....	40
2.7	Linhas de transmissão.....	42
2.8	Medição de vazão usando indução magnética	44
2.9	Efeito Capacitivo.....	50
2.10	Efeito Hall.....	51
2.11	Fenômeno de Gibbs	53
2.12	Impedância.....	54
2.13	Admitância.....	56
2.14	Escalabilidade.....	57
2.15	Incerteza de Medição.....	58
2.15.1	Incerteza dos medidores geradores de pressão diferencial por placas de orifício.....	62
2.15.2	Incerteza dos medidores eletromagnéticos.....	63
3	METODOLOGIA.....	64
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	70
4.1	Resultados.....	70
4.2	Discussões.....	82
5	CONCLUSÃO.....	83
	REFERÊNCIAS.....	85
	ANEXO A - REGISTROS DE QUALIDADE DOS MEDIDORES DE VAZÃO UTILIZADOS E REGISTRO DE LIBERAÇÃO DA CEGÁS PARA PUBLICAÇÃO DOS DADOS.....	98

1 INTRODUÇÃO

A elevação do consumo de energia no planeta, relacionado às dificuldades da oferta, dadas as previsões de declínio das reservas de petróleo em algumas décadas e aos problemas ambientais associados, obrigou muitos países a investirem em energias renováveis e não poluentes, para diversificar suas matrizes energéticas e diminuir a forte dependência do petróleo, que ainda responde por mais de 40% do consumo mundial. Estas ações, no entanto, se apresentam insuficientes diante do crescimento populacional e econômico das últimas décadas, remetendo o planeta a uma crise energética quanto ao abastecimento das demandas atuais e futuras. Nesse cenário, tais fatores têm levado ao aumento do consumo do gás natural (GN), pois, embora seja um energético não renovável, seus reservatórios estão em abundância e sua queima polui bem menos que a dos outros combustíveis fósseis. O Brasil é um dos países com grande potencial de diversificação da matriz energética, devido aos recursos minerais disponíveis e características específicas, reunindo todas as condições de atingir a sustentabilidade. Além do vasto potencial hidráulico que já vem sendo explorado nas últimas décadas, o país pode contar com a energia solar, eólica e a biomassa, devido à sua posição geográfica e extensão territorial, em paralelo à exploração das reservas de petróleo, gás natural, carvão e urânio. Porém, essa diversificação energética necessita de grandes investimentos e intenso desenvolvimento tecnológico para se tornar efetiva, o que não ocorreu nos últimos anos, levando o país a enfrentar graves crises para atender suas demandas, racionamentos e apagões (CAGNI JUNIOR, 2007).

O gás natural é encontrado em reservatórios subterrâneos tanto em terra quanto no mar, composto basicamente por Metano ($\text{CH}_4 = \text{C}_1$), Etano ($\text{C}_2\text{H}_6 = \text{C}_2$), Propano ($\text{C}_3\text{H}_8 = \text{C}_3$) e, em menor proporção, por outros hidrocarbonetos (moléculas formadas por átomos de carbono e hidrogênio = C_n) de maior peso molecular. Acumulado em rochas porosas no subsolo, pode estar associado ou não ao petróleo. Geralmente, apresenta baixos teores de contaminantes, tais como: Inertes (Nitrogênio e Dióxido de Carbono), água, compostos de enxofre e traços (pequenas quantidades) de outros constituintes. O GN, definido pela Lei nº. 9.478/97, é todo hidrocarboneto que permaneça em estado gasoso nas condições atmosféricas normais, que é extraído diretamente a partir de reservatórios petrolíferos ou gaseíferos, incluindo gases úmidos, secos, residuais e gases raros. Dessa forma, o gás natural é uma mistura multicomponente de: hidrocarbonetos (C_1 , C_2 , C_3 , i- C_4 , n- C_4 , i- C_5 , n- C_5 e C_6), inertes (CO_2 , N_2) e contaminantes (H_2O , H_2S , RSH - grupos tiol, também conhecidos como

sulfidrilas), que se apresentam no estado gasoso nas condições normais de pressão e temperatura.

As qualidades e as vantagens do gás natural frente as outras fontes de energia fomentaram as aplicações industriais, domiciliares e automotivas, notadamente nos grandes centros urbanos e industriais das regiões sul, sudeste e nordeste.

As características distintas e as vantagens superiores do gás natural em comparação com outras fontes de energia impulsionaram amplamente suas aplicações nas indústrias, residências e setor automotivo, especialmente nos grandes centros urbanos e industriais das regiões sul, sudeste e nordeste.

Contudo, devido aos aspectos legais e comerciais, é comum observar, principalmente nas estações de medição mais importantes, que fornecedores de gás e recebedores operam de forma independente os seus próprios sistemas de medição, sempre verificando se as diferenças de medição estão dentro das tolerâncias acordadas entre as partes por meio de instrumentos contratuais detalhados.

Existem diversos tipos de medidores de vazão para diversas aplicações, entre eles encontram-se os medidores tipo turbina, deslocamento positivo, pressão diferencial, eletromagnéticos, roda d'água, térmico, ultrassônico, etc. A escolha se dá pela facilidade de fabricação e baixo custo na aquisição dos componentes do medidor, o medidor pesquisado neste trabalho é também conhecido como medidor de velocidade.

Os medidores de velocidade operam baseados em um princípio de funcionamento eletromecânico simples, porém preciso, na medida em que o fluido flui, o rotor gira a uma velocidade proporcional à vazão e produz um sinal elétrico pulsado, o qual permite seu interfaceamento com diferentes instrumentos de leitura e controle.

Se consideramos um erro na geração de sinal do medidor, de 1% equivalente a transferência do volume de gás fornecido pela Companhia de Gás, teremos uma média de 500.000 Nm³ (metro cúbico normal) /dia de volume distribuído, o valor do erro seria 5.000 Nm³/dia. Aplicando um valor médio de R\$ 2,50/Nm³, o que representa um valor de R\$ 12.500,00/dia contabilizado como perda. Os registros de medição quando comparados ao volume do SUPRIDOR x DISTRIBUIDOR apresentam diferenças na ordem de 2%, valores médios.

Por esse motivo, atualmente as pesquisas estão mais focadas em determinar a melhor maneira de corrigir ou minimizar esses erros ocorridos, através de investimentos na melhoria tecnológica dos componentes que formam o sistema de medição, como os sensores e transmissores, ou da formulação de algoritmos que auxiliem o processo de medição.

Dentro das linhas de pesquisas citadas, foi abordado no desenvolvimento desse projeto, uma nova ótica de tratamento aos dados gerados pelos medidores de vazão usados em larga escala, pois poderão apresentar resultados satisfatórios com baixos valores de investimentos em equipamentos eletrônicos e propiciar uma abertura a outras linhas de pesquisas e desenvolvimento na área de gás, energia e instrumentação.

Os sinais de pulso e vazão dos medidores são sinais eletromagnéticos com geração em cada medidor por meio de sensores. Esses dados de vazão são utilizados para simulação dos volumes a serem consumidos pelos usuários e assim realizadas as programações de retirada das distribuidoras junto aos supridores e transportadoras de gás natural canalizado.

Para o desenvolvimento da pesquisa, a Companhia de Gás do Ceará – CEGÁS, autorizou coletar e publicar, imagens e registros de medição e composição do gás, em qualquer tipo de mídia e dados da estação de recebimento de gás natural e biometano da malha de distribuição da companhia, para uso exclusivo de elaboração trabalhos acadêmicos.

O objetivo desta dissertação é realizar a verificação e tratamento na geração, transmissão e captação dos sinais de pulso dos medidores de vazão nas estações de transferência de custódia da Companhia de Gás do Ceará (CEGÁS), visando mitigar as percas de dados, falta de sincronismo e/ou comunicação com os equipamentos de cálculo e correção de volume em energia. A pesquisa também propõe uma nova configuração de instalação ou geração de onda para comunicação e transmissão dos dados, objetivando eliminar possíveis falhas na projeção dos volumes a serem retirados diariamente, uma vez que a nominação diária é elabora com base nos volumes projetados, sendo a projeção de retirada balizada pelos registros volumétricos do dia corrente até as 12:00 horas. O trabalho visa contribuir para a melhoria tecnológica dos componentes do sistema de medição e para promover novas linhas de pesquisa e desenvolvimento na área de gás, energia e instrumentação.

A estrutura da dissertação, além desta introdução, compreende as seguintes seções: fundamentação teórica com tópicos sobre gás natural, processos industriais, nominação de gás, sinais, tipos de onda, medição de gás, ondas eletromagnéticas, reflexão e refração de sinais, linhas de transmissão, efeito capacitivo, sensor de efeito hall, fenômeno de Gibbs, chave Dip Switch, impedância, admitância e escalabilidade; metodologia, resultados e discussões; e conclusões.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Gás Natural

O gás natural é um combustível fóssil, não renovável, que é originado em camadas de animais e vegetal soterrados, que ficaram expostos a intenso calor e pressão ao longo de milhares de anos. Segundo a Agência Nacional de Petróleo (ANP, 2008), é uma mistura de hidrocarbonetos leves encontrado no subsolo, na qual o metano tem uma participação superior a 90 % em volume. A composição do gás natural pode variar bastante dependendo de fatores relativos ao campo em que o gás é produzido, processo de produção, separação, condicionamento, processamento e transporte.

Antes de o gás natural poder ser utilizado como energético, ele passa por um processo de separação e tratamento para retirar impurezas, inclusive a água, para satisfazer as especificações de um gás natural comercializável. São separados nesse processo de tratamento etano, hidrocarbonetos de peso molecular superior, dióxido de carbono, hélio e nitrogênio.

Pela lei 9.478/97 (Lei do Petróleo), o gás natural "é a porção do petróleo que existe na fase gasosa ou em solução no óleo, nas condições originais de reservatório, e que permanece no estado gasoso em CNTP.

O gás natural pode apresentar grandes variações, de uma maneira geral, o energético apresenta teor de metano superiores a 90% de sua composição, densidade relativa menor que 1 em relação ao ar e poder calorífico superior entre 8.000 e 10.000 kcal/m³, dependendo dos teores de pesados (etano e propano principalmente) e inertes (nitrogênio e gás carbônico). No Brasil, a especificação do gás natural para comercialização e transporte está estabelecida pela Resolução Nº 16 de 17 de junho de 2008, da Agência Nacional do Petróleo (ANP).

As companhias de distribuição adotam valores de referência para comercialização, esses limites são definidos pela resolução Nº16 de 2008 da ANP e a comercialização só é possível caso o energético distribuído esteja dentro das seguintes especificações:

- Poder Calorífico Superior → 35.000 a 43.000 kJ/m³
- Índice de Wobbe → 46.500 a 53.500 kJ/m³
- Número de metano, mínimo → 65
- Metano, mínimo → 85,0 % mol.
- Etano, máximo → 12,0 % mol.
- Propano, máximo → 6,0 % mol.
- C4+, máximo → 3,0 % mol.

- Oxigênio, máximo $\rightarrow 0,5 \text{ \% mol.}$
- Inertes ($\text{N}_2 + \text{CO}_2$), máximo $\rightarrow 6,0 \text{ \% mol.}$
- CO_2 , máximo $\rightarrow 3,0 \text{ \% mol.}$
- Enxofre Total, máximo $\rightarrow 70 \text{ mg/m}^3$
- H_2S , máximo $\rightarrow 10 \text{ mg/m}^3$
- Ponto de orvalho de água, máximo $\rightarrow -45 \text{ }^\circ\text{C a 1 atm}$
- Ponto de orvalho de hidrocarbonetos, máximo $\rightarrow 0 \text{ }^\circ\text{C a 1 atm}$

No Brasil, a utilização do gás natural começou modestamente por volta de 1940, com as descobertas de óleo e gás na Bahia, atendendo a indústrias localizadas no Recôncavo Baiano. Após alguns anos, as bacias do Recôncavo, Sergipe e Alagoas destinavam quase em sua totalidade para a fabricação de insumos industriais e combustíveis para a Refinaria Landolpho Alves e o Polo Petroquímico de Camaçari.

Com a descoberta da Bacia de Campos, as reservas provadas praticamente quadruplicaram no período 1970 aos dias de hoje. O desenvolvimento da bacia proporcionou um aumento no uso da matéria-prima, elevando em 2,7% sua participação na matriz energética nacional (JORGE, 2006).

Nos primeiros anos de operação do gasoduto, a elevada oferta do produto e os baixos preços praticados favoreceram uma explosão no consumo, tendo o gás superado a faixa de 10% de participação na matriz energética nacional (SANTOS, 2006).

Nos últimos anos, com as descobertas nas bacias de Santos e do Espírito Santo, as reservas nacionais de gás natural tiveram um aumento significativo. Existe a perspectiva de que as novas reservas sejam ainda maiores na região subsal ou "pré-sal" e ainda com novos campos a serem explorados na margem equatorial.

Com o preço relativamente menor de metro cúbico, do gás importado da Bolívia, a necessidade de diminuir a insegurança energética do Brasil levou a Petrobrás a decidir por uma alternativa mais cara, porém mais segura: a construção de terminais de importação de gás natural liquefeito - GNL no Rio de Janeiro e em Pecém, no Ceará. Isso permite ao Brasil, importar de qualquer país praticamente o mesmo volume de gás que hoje o país importa da Bolívia.

Com a publicação da Lei n. 11.909, de 4 de março de 2009, foram criadas normas para exploração das atividades econômicas de transporte de gás natural por meio de condutos e da importação e exportação de gás natural.

A distribuição é a última etapa, quando o gás chega ao consumidor, que pode ser residencial, comercial, industrial ou automotivo. Nesta fase, o gás já deve estar atendendo a

padrões rígidos de especificação e praticamente isento de contaminantes, para não causar problemas aos equipamentos onde este será utilizado como combustível ou matéria-prima. Quando necessário, deverá também estar odorizado, para ser detectado facilmente em caso de vazamentos.

O gás natural é utilizado diretamente como combustível, tanto em indústrias, casas e automóveis. É considerada uma fonte de energia mais limpa que os derivados do petróleo e o carvão. Alguns dos gases de sua composição são eliminados porque não possuem capacidade energética (nitrogênio ou CO₂) ou porque podem deixar resíduos nos condutores devido ao seu alto peso molecular em comparação ao metano (butano e metais pesados), sendo mais comuns esses processos de separação ser aplicados ao GNL.

As desvantagens do gás natural em relação ao butano é que este é mais difícil de ser transportado, devido ao fato de ocupar maior volume mesmo sendo pressurizado, também é mais difícil de ser liquefeito, requerendo temperaturas da ordem de -160 °C.

Atualmente, estão sendo investigadas as jazidas de hidratos de metano, que se estima haver reservas energéticas muito superiores às atuais de gás natural, porém as dificuldades de exploração podem encarecer o processo de extração, existe também uma tendência à exploração de gás de xisto, já havendo uma confirmação de grandes campos de exploração.

Todas essas características do energético mostram o quão difícil é o tratamento e processamento deste. Dessa forma, os mecanismos de controle operacional e segurança da rede de distribuição devem estar sempre atualizados e adequados à dinâmica da malha e dos equipamentos nela instalados.

2.2 Processos Industriais

Toda a movimentação e comercialização do gás natural inicia com o processamento do energético logo após a exploração. Os processos industriais são os procedimentos utilizados na produção de bens e serviços em larga escala, normalmente em indústrias. Esses processos envolvem uma série de operações, desde a extração da matéria-prima até a entrega do bem final ao cliente.

Os processos industriais podem variar de acordo com o setor industrial e o produto em questão. Alguns exemplos comuns de processos industriais incluem:

- Processos químicos: envolvem a transformação de matérias-primas químicas em produtos acabados, como plásticos, produtos farmacêuticos e produtos químicos.
- Processos de fabricação: envolvem a transformação de matérias-primas em

produtos acabados por meio de processos mecânicos, como usinagem, soldagem, fundição, entre outros.

- Processos de produção de energia: envolvem a geração de energia elétrica, térmica ou mecânica a partir de fontes renováveis ou não renováveis, como hidrelétricas, usinas termelétricas, usinas nucleares, entre outras.
- Processos de alimentos: envolvem a produção de alimentos em larga escala, desde a colheita até o processamento e embalagem.

A otimização desses processos é fundamental para a eficiência e competitividade das empresas, bem como para a sustentabilidade ambiental. Existem vários processos industriais que são aplicados ao gás natural, que é uma fonte de energia limpa e eficiente. Alguns dos principais processos industriais aplicados ao gás natural incluem:

- Extração e transporte: O processo começa com a extração do gás natural a partir de reservatórios subterrâneos. Em seguida, o gás é transportado por gasodutos para as usinas de processamento ou diretamente para as indústrias consumidoras.
- Processamento: O gás natural é processado em usinas de processamento para remover impurezas, como água e outros gases, que podem afetar a qualidade do combustível. O processamento também envolve a separação dos componentes do gás natural, como o metano, o etano, o propano e o butano.
- Armazenamento: O gás natural é armazenado em tanques de armazenamento ou cavernas subterrâneas para uso futuro. O armazenamento é importante para garantir a disponibilidade contínua de gás natural para as indústrias consumidoras.
- Distribuição: O gás natural é distribuído para as indústrias consumidoras por meio de redes de gasodutos. A distribuição também pode envolver o transporte do gás natural em caminhões-tanque para indústrias que estão fora da área de cobertura da rede de gasodutos.
- Utilização: O gás natural é usado em uma ampla variedade de aplicações industriais, como a geração de energia elétrica, a produção de produtos químicos e fertilizantes, a fabricação de vidro e a produção de aço e alumínio. O uso de gás natural como fonte de energia pode ajudar as indústrias a reduzir as emissões de gases de efeito estufa e a melhorar sua eficiência energética.

Todas essas etapas são balizadas pela programação / nomeação diária das distribuidoras e transportadoras. Os dados de retirada / comercialização de gás são projetados diariamente estudando o consumo e registros de demanda dos usuários.

2.2.1 Nomenclatura de Gás Natural

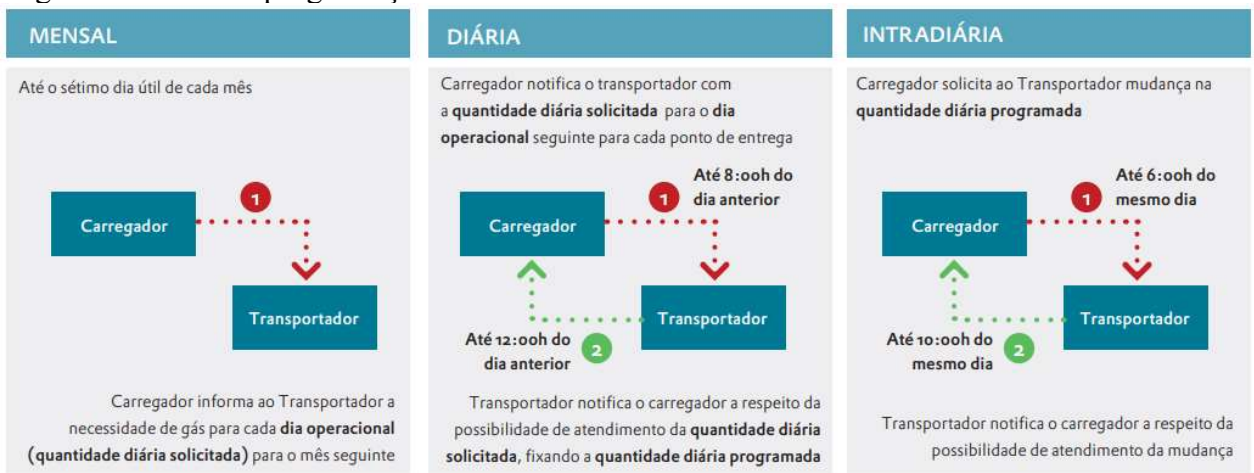
Existem três tipos de serviços de transporte de gás: i) firme; ii) extraordinário; iii) interruptível. Essa classificação é baseada no grau de certeza com que a demanda é atendida pela capacidade de transporte existente. As classificações Firme e Extraordinária são aquelas com as quais a capacidade contratada da carregadeira estará sempre disponível. O serviço firme é o principal produto da operadora porque tem prioridade na contratação de direitos sobre outros meios. De fato, esse modelo foi o fator motivador para a chamada pública do processo de expansão da rede de transportes. No entanto, nos serviços especiais, foi firmado contrato precário por prazo não superior a um ano. A forma de contratação é considerada precária e os contratos de serviços especiais são rescindidos como se outros embarcadores estivessem interessados em firmar um contrato firme. Dito de outra forma, o serviço extraordinário tem natureza precária pela possibilidade de ser substituído por um contrato firme e o contrato extraordinário deixar de existir. Por sua vez, o serviço interruptível é aquele no qual existe um risco de o transportador interromper o fornecimento do carregador em virtude da programação de capacidade por um carregador que tenha um uso preferencial da capacidade. De forma geral, a contratação sob a modalidade interruptível está muito associada à existência de um mercado secundário, de agentes ou consumidores que tenham flexibilidade no uso do gás e, usualmente, alternativas no suprimento de combustível (ainda que seja o atendimento por um combustível substituto). Pela consulta feita às informações divulgadas pelos transportadores de gás, apenas a TBG teve um contrato de transporte interruptível vigente até agosto de 2016. Em função do estabelecido pela Resolução ANP n.º 11/16, os transportadores ficaram obrigados a disponibilizar online os termos de acesso a suas instalações. Os termos de acesso devem contemplar todas as modalidades de serviços disponíveis: firme, interruptível e extraordinário.

Para entender as possíveis restrições aos direitos de uso da capacidade ociosa do gasoduto, é importante entender o regime de exclusividade do gasoduto (também conhecido como licença de visita). O período de exclusividade é o intervalo de tempo durante no qual o embarcador inicial deve explorar exclusivamente a capacidade do gasoduto para transporte de gás natural, não podendo a capacidade contratada ser utilizada por terceiros. O acesso à capacidade disponível (sem contrato) não está sujeito a um período de exclusividade. Não é possível expandir o pipeline de transporte durante o período de exclusividade. No entanto, a capacidade pode aumentar devido a medições realizadas pela ANP ou devido à renúncia de capacidade contratada. Nesses casos, a capacidade incremental não está sujeita ao período de

exclusividade. Além disso, o Decreto n.º 7.382/10 estabeleceu que o período de exclusividade é encerrado caso o gasoduto alcance sua capacidade máxima de transporte, ainda que o prazo fixado na chamada pública não tenha sido encerrado. A ANP deverá regulamentar os parâmetros que definirão se o gasoduto alcançou ou não a capacidade máxima de transporte.

Conforme mencionado acima, assinar um contrato no modelo fixo é, na verdade, obter a opção de usar a capacidade do gasoduto dentro do limite estipulado no contrato. A prática de utilização efetiva da capacidade está relacionada com a situação real dos contratos de fornecimento de gás e operação de gasoduto, e a designação e extração de uma determinada quantidade de gás natural pelo embarcador/nomeado pelo embarcador. Esta rotina, ou seja, a programação, permite, por exemplo, a interação entre serviços fixos e interrompíveis. Por ser um conceito relevante para entender a interação entre os serviços, é importante fazer uma breve explicação sobre a programação da operação dos gasodutos. Como a rotina de programação dos gasodutos não é regulada, depende do que dispõem os contratos, foi realizada uma introdução conceitual ao tema, com base nos parâmetros de serviço disponibilizados pela TBG.

Figura 1 - Fluxo da programação de retirada



Fonte: TBG

Conforme mostra a figura 1, ele é programado inicialmente com base na quantidade que o embarcador estima que será utilizada no próximo mês. Aqui, o número de solicitações por dia da semana é relatado. Ao longo do mês, a cada dia útil, o embarcador informará ao transportador a quantidade real diária solicitada no dia anterior. A transportadora responde ao embarcador no mesmo dia, informando se é possível o atendimento total ou parcial da quantidade diária solicitada. A quantidade definida pelo transportador é a quantidade diária programada. Por fim, caso sejam necessárias alterações na quantidade diária programada, o carregador deve solicitar ao transportador até às 6:00h do mesmo dia e o transportador informará a possibilidade ou não de atendimento da alteração solicitada.

Figura 2 - Quadro resumo do operacional e programação

Dia Operacional	Quantidade Diária Solicitada	Quantidade Diária Programada
Período de 24h consecutivas que se inicia às [] do horário oficial de [] em qualquer dia do ano	Quantidade de gás solicitada pelo carregador em determinado dia operacional por ponto de entrega	Quantidade de gás que o carregador tenha solicitado e que tenha sido programada (confirmada) pelo Transportador

Fonte: TBG

Se um grupo de embarcadores (em todos os modos de transporte) solicitar mais capacidade do que a transportadora pode suportar em um determinado dia de operação, e a transportadora não puder acomodar toda a capacidade solicitada, ela poderá quebrar contratos de fornecimento interrompíveis proporcionalmente. As transportadoras devem fornecer aos expedidores uma descrição da interrupção a cada dia de operação e permitir que as partes interessadas analisem a causa da interrupção.

2.3 Sinais

Alguns dos sinais são os de telefone ou televisão, o registro de vendas de uma corporação ou os valores de fechamento da bolsa de negócios (por exemplo, o valor médio do índice BOVESPA). Em todos esses exemplos, os sinais são funções da variável independente tempo, entretanto, este nem sempre é o caso. Quando uma carga elétrica é distribuída sobre um corpo, por exemplo, o sinal é a densidade de carga, uma função do espaço em vez do tempo.

Os sinais podem ser posteriormente processados por sistemas, os quais podem modificá-los ou extrair informação adicional. Por exemplo, um operador de artilharia antiaérea pode querer saber a posição futura de um alvo hostil que está sendo seguido por seu radar. Conhecendo o sinal do radar, ele sabe a posição passada e a velocidade do alvo. Através do processamento do sinal do radar (a entrada), ele pode estimar a posição futura do alvo. Portanto, um sistema é uma entidade que processa um conjunto de sinais (entradas) resultando em um outro conjunto de sinais (saídas). Um sistema pode ser construído com componentes físicos, elétricos, mecânicos ou sistemas hidráulicos (realização em hardware) ou pode ser um algoritmo que calcula uma saída de um sinal de entrada (realização em software)

Para nosso estudo de caso, focamos em sinais contínuos, elétricos analógicos e digitais.

Sinais contínuos são representados por funções matemáticas contínuas e podem assumir valores em uma faixa contínua de números reais. Exemplos de sinais contínuos incluem:

- Sinais de áudio: o som é um sinal contínuo que varia em amplitude e frequência ao

longo do tempo.

- Sinais de vídeo: uma imagem ou vídeo é um sinal contínuo que varia em intensidade e cor ao longo do tempo.
- Sinais analógicos: sinais como temperatura, pressão e velocidade são exemplos de sinais contínuos que podem ser medidos em tempo real.
- Sinais de onda: sinais como ondas sonoras, ondas eletromagnéticas e ondas mecânicas são exemplos de sinais contínuos que variam suavemente no tempo e no espaço.
- Sinais biomédicos: sinais como a atividade cerebral, a frequência cardíaca e a pressão arterial são exemplos de sinais contínuos produzidos pelo corpo humano.

O estudo dos sinais é importante em muitas áreas, incluindo a engenharia elétrica, a acústica, a física, a medicina e a biologia. Eles podem ser divididos em analógicos e digitais, e ainda, processados e analisados usando técnicas matemáticas, como a transformada de Fourier e o cálculo diferencial.

Um sinal digital é um sinal que é convertido em uma sequência de zeros e uns, que são representados por bits. Esse sinal é discreto e tem uma faixa finita de valores. Exemplos de sinais digitais incluem arquivos de áudio, imagens digitais e informações codificadas em computadores.

A principal diferença entre os sinais analógicos e digitais está na forma como são processados e transmitidos. Os sinais analógicos são processados diretamente, enquanto os sinais digitais requerem uma conversão prévia para uma forma digital antes de serem processados.

A vantagem dos sinais digitais é que eles são menos suscetíveis a interferências e ruídos, permitindo uma transmissão e processamento mais precisos e confiáveis. No entanto, os sinais analógicos ainda são amplamente utilizados em muitas aplicações, principalmente na transmissão de som e imagem.

Em resumo, enquanto os sinais analógicos são contínuos e têm uma amplitude infinita, os sinais digitais são discretos e têm uma amplitude finita. Ambos os tipos de sinais são importantes em diversas áreas da ciência e tecnologia e são utilizados para diversas aplicações.

A forma do sinal é a mesma em cada período, mas sua amplitude e frequência podem mudar. Exemplos de sinais periódicos incluem as ondas sonoras, as ondas eletromagnéticas e os sinais de pulso.

Por outro lado, um sinal não periódico é um sinal que não se repete ao longo do tempo. Ele pode ser aleatório ou determinístico, mas não há uma repetição regular de sua forma ou amplitude. Exemplos de sinais não periódicos incluem o ruído branco, os sinais de voz e as amostras de um sinal de terremoto.

A classificação dos sinais como periódicos ou não periódicos é importante em diversas aplicações, como na análise de sistemas de comunicação, na análise de sinais biomédicos e na síntese de sinais de áudio e vídeo. Alguns sinais podem ser tratados tanto como periódicos quanto não periódicos, dependendo do contexto em que são analisados.

Um sinal de energia é um sinal que tem energia finita e pode ser representado por uma função de energia finita. A energia de um sinal é dada pela integral do quadrado do valor do sinal ao longo do tempo. Exemplos de sinais de energia incluem sinais de áudio, sinais de imagem e sinais de vídeo.

Já um sinal de potência, é um sinal que tem uma quantidade infinita de energia, mas uma potência finita. A potência de um sinal é dada pela média do quadrado do valor do sinal ao longo do tempo. Exemplos de sinais de potência incluem sinais de rádio, sinais de TV e sinais de comunicação digital.

A classificação dos sinais como sinais de energia ou potência é importante em diversas aplicações, como na análise de sistemas de comunicação e na síntese de sinais de áudio e vídeo. Em geral, sinais de energia são usados em aplicações que requerem alta qualidade de sinal, como em sistemas de áudio e imagem, enquanto sinais de potência são usados em aplicações que requerem eficiência energética, como em sistemas de comunicação sem fio.

Os sinais podem ser classificados em determinísticos e aleatórios, dependendo de sua natureza.

Um sinal determinístico é um sinal cuja forma e amplitude são conhecidas com certeza. Ele pode ser descrito por uma função matemática determinística, que pode ser completamente previsível. Exemplos de sinais determinísticos incluem sinais senoidais, sinais quadrados e sinais de rampa.

Por outro lado, um sinal aleatório é um sinal cuja forma e amplitude são desconhecidas e imprevisíveis. Ele pode ser descrito por uma função matemática probabilística, que descreve a probabilidade de que o sinal assuma um determinado valor em um determinado momento. Exemplos de sinais aleatórios incluem o ruído branco, o sinal de voz e as amostras de um sinal de terremoto.

A classificação dos sinais como determinísticos ou aleatórios é importante em diversas aplicações, como na análise de sinais biomédicos, na análise de sinais de comunicação e na

análise de séries temporais. Sinais determinísticos são frequentemente usados em sistemas de comunicação e processamento de sinais, enquanto sinais aleatórios são usados em aplicações que requerem a modelagem de incertezas e variações em um sistema, como em previsões meteorológicas ou econômicas.

É importante ressaltar que nem todos os sinais podem ser classificados estritamente como determinísticos ou aleatórios, e que a classificação depende do contexto em que o sinal é analisado. Por exemplo, um sinal pode ser determinístico em uma escala temporal pequena, mas aleatório em uma escala temporal maior.

2.4 Tipos de onda

O conhecimento dos tipos de ondas e o comportamento delas no domínio do tempo é fundamental para o estudo das problemáticas que serão apresentadas posteriormente. Os diferentes tipos de ondas existentes, são classificadas de acordo com suas propriedades e características. Aqui estão alguns exemplos:

- Ondas mecânicas: são ondas que requerem um meio material para se propagar, como as ondas sonoras em um gás, líquido ou sólido.
- Ondas eletromagnéticas: são ondas que não requerem um meio material para se propagar e podem viajar através do vácuo, como as ondas de rádio, micro-ondas, luz, raios X e raios gama.
- Ondas transversais: são ondas em que a vibração ocorre perpendicularmente à direção de propagação da onda, como as ondas em uma corda.
- Ondas longitudinais: são ondas em que a vibração ocorre na mesma direção da propagação da onda, como as ondas sonoras em um gás ou líquido.
- Ondas de superfície: são ondas que se propagam ao longo da superfície de um meio, como as ondas em um oceano ou em um terremoto.
- Ondas estacionárias: são ondas que parecem estar paradas em um ponto, resultantes da superposição de duas ondas idênticas que se movem em direções opostas.
- Ondas de choque: são ondas de alta pressão que se propagam a uma velocidade maior do que a velocidade do som em um meio, como as ondas de choque produzidas por um avião supersônico.

Esses são apenas alguns exemplos dos muitos tipos de ondas que existem na natureza e na tecnologia. A compreensão das propriedades e características das ondas é essencial para muitas áreas da física, engenharia e ciência em geral.

As ondas eletromagnéticas são um tipo de onda que se propagam pelo espaço sem necessitar de um meio material para sua propagação. Elas consistem em um campo elétrico e um campo magnético oscilante que se propagam perpendicularmente um ao outro e também perpendicularmente à direção de propagação da onda.

As ondas eletromagnéticas são produzidas por cargas elétricas em movimento, como elétrons em um fio condutor ou átomos excitados em uma lâmpada. Elas viajam à velocidade da luz no vácuo (cerca de 300.000 km/s) e são descritas pela equação de Maxwell, que descreve como os campos elétrico e magnético se relacionam entre si e como se propagam pelo espaço.

As ondas eletromagnéticas são importantes em muitos campos da ciência e da tecnologia, incluindo telecomunicações, radiodifusão, astronomia, medicina, ciência dos materiais e muitos outros. Diferentes tipos de ondas eletromagnéticas têm diferentes comprimentos de onda e frequências, o que significa que elas têm diferentes propriedades e interações com a matéria. Alguns exemplos de ondas eletromagnéticas incluem ondas de rádio, micro-ondas, luz visível, raios X e raios gama.

Outro formato de onda que é aplicada nesse estudo de caso é a modulação por largura de pulso (PWM, na sigla em inglês) é uma técnica de controle de sinais elétricos que consiste em variar a largura de pulsos de um sinal de forma a controlar a quantidade de energia que é transferida para um dispositivo elétrico ou eletrônico.

Em um sinal PWM, a amplitude do sinal é mantida constante enquanto a largura dos pulsos varia. A largura dos pulsos determina a quantidade de energia que é transferida ao dispositivo elétrico. Quanto mais largos são os pulsos, maior é a quantidade de energia transferida e vice-versa.

A modulação por largura de pulso é amplamente utilizada em eletrônica, especialmente em circuitos de controle de motores elétricos e em sistemas de controle de iluminação LED, por exemplo. A técnica é eficiente e permite um controle preciso da energia fornecida ao dispositivo elétrico, o que pode ajudar a economizar energia e prolongar a vida útil do equipamento.

O PWM pode ser implementado em diferentes frequências, dependendo da aplicação. O circuito responsável por gerar o sinal PWM é conhecido como modulador PWM e pode ser construído utilizando componentes eletrônicos como transistores, diodos, capacitores e

resistores, ou ainda com o uso de microcontroladores e circuitos integrados específicos para essa finalidade.

2.5 Medição de gás

Os sistemas de medição dos volumes de petróleo e gás natural, de modo geral, são razoavelmente padronizados, seguindo normas técnicas internacionais consolidadas por entidades tradicionais, tais como:

- ISO – International Organization for Standardization / Organização Internacional de Normalização;
- API – American Petroleum Institute / Instituto Americano de Petróleo;
- AGA – American Gas Association / Associação Americana de Gás;
- OIML – Organização Internacional de Metrologia Legal.

Em nível nacional, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) também contribui de forma importante e cada vez mais abrangente. Organismos como Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), Sociedade Brasileira de Metrologia (SBM), Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás (IBP) também têm contribuído para o desenvolvimento da indústria, realizando uma avaliação permanente dos métodos de cálculo de volumes e suas incertezas associadas. Os principais métodos de medição do volume de óleo e gás são descritos a seguir. No caso do petróleo, existem medições em tanques (tanques) em terra e no mar, e medições online que medem a vazão (através de medidores de vazão) instantaneamente e calculam o volume correspondente por hora, diário e mensal.

No caso do gás natural, existem métodos de medição online, ou seja, a vazão é medida instantaneamente por um medidor de vazão e a vazão correspondente é resumida em base horária, diária e mensal. A incerteza de medição é um parâmetro relacionado a um resultado de medição que caracteriza a dispersão que pode ser fundamentalmente atribuída ao valor que está sendo medido. Por representar a qualidade dos resultados, sua certeza é fundamental para expressar o grau de confiança que se tem nas medidas encontradas. A incerteza de medição geralmente é determinada por regulamentos oficiais (ANP e INMETRO) ou por contrato (caso de transferência de custódia).

A avaliação da incerteza de medição no campo de petróleo e gás deve obviamente seguir os métodos descritos nas Diretrizes para Expressão de Incerteza em Medição (ISO GUM). O procedimento proposto pela ISO GUM para estimar a incerteza de medição para um

determinado mensurando inclui as seguintes etapas: definição do mensurando e seu modelo matemático, identificação de possíveis fontes de incerteza, quantificação de fontes de incerteza. A incerteza é reduzida a uma forma padrão, uma combinação de incertezas padronizadas e coeficientes de sensibilidade correspondentes, uma declaração de incertezas expandidas, fatores de cobertura e níveis de confiança. A seguir, será descrita a avaliação da incerteza para cada método de medição.

De um modo geral, a medição de fluxo envolve a determinação da quantidade de líquidos, gases e sólidos que passam por um determinado local por unidade de tempo. A quantidade total movida pode ser medida em unidades de volume (litros, milímetros cúbicos, centímetros cúbicos, metros cúbicos, galões, pés cúbicos) ou unidades de massa (gramas, quilogramas, toneladas, libras). O fluxo instantâneo é dado dividindo uma das unidades acima por uma unidade de tempo (litros por minuto, metros cúbicos por hora, galões por minuto).

Conforme Brunetti (2008), define-se vazão em volume Q , como o volume de fluido que atravessa uma certa seção do escoamento por unidade de tempo definido pela Equação abaixo:

$$Q = v/t \quad (1) \quad (\text{equação 01})$$

Onde:

Q = vazão que passa por um determinado local, em m^3/h ;

v = volume total movimentado, em m^3 ;

t = tempo levado para todo fluido passar por determinado local, em h .

Através de cálculos e teorias da mecânica dos fluidos consegue-se realizar o desenvolvimento de equipamentos que possibilitam obter a medição do volume de fluidos que atravessam determinadas seções. Tais equipamentos são conhecidos como medidores de vazão.

2.6 Ondas eletromagnéticas

As ondas eletromagnéticas são formadas por campos elétricos e magnéticos que se movem no vácuo à velocidade da luz, cerca de 300.000 km/s. Isso é chamado de onda eletromagnética. A velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas depende do meio. Em meios diferentes do vácuo, essas ondas viajam em velocidades menores.

As ondas eletromagnéticas são transversais, ou seja, sua direção é perpendicular à direção de propagação. Só existe um tipo de onda eletromagnética, aquela que podem ser equacionadas pelas 3ª e a 4ª equações de Maxwell, resultando a equação da onda. A

classificação a seguir é pelas faixas de frequências, mas essas ondas são todas solução de uma mesma equação: ondas de rádio, micro ondas, radiação infravermelha, luz visível, radiação ultravioleta, raios X e raios gama. O que determina sua classificação é a frequência e flutuação da onda de emissão e seu comprimento de onda. Quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda. As ondas são medidas no espectro eletromagnético. Usando este mecanismo de banda, a distribuição de intensidade eletromagnética pode ser investigada. As ondas eletromagnéticas foram previstas e teorizadas pelo físico e matemático escocês James Clerk Maxwell, que uniu as equações atuais de eletricidade e magnetismo (Faraday, Ampere e Gauss) na equação de onda.

Graças às suas equações, Maxwell foi capaz de calcular a velocidade com que as ondas eletromagnéticas viajam. A existência de ondas eletromagnéticas foi confirmada experimentalmente quase uma década depois, após os experimentos do físico alemão Heinrich Hertz. Todas as ondas eletromagnéticas possuem frequência, comprimento de onda e amplitude. Além disso, o comprimento de onda e a frequência são inversamente proporcionais, de modo que as ondas de alta frequência (como raios-X ou raios gama) têm comprimentos de onda muito curtos.

2.6.1 Reflexão e refração

Desde os tempos muito antigos a raça humana questionava sobre a natureza da luz. A luz é uma onda eletromagnética, portanto, exibe natureza ondulatória. No Mundo Antigo os filósofos gregos acreditavam que a luz era formada por pequenas partículas, as quais se propagavam em linha reta e com alta velocidade. Essa explicação permaneceu indiscutível por muito tempo até que, por volta do ano de 1500, Leonardo da Vinci percebeu a semelhança entre a reflexão da luz e o fenômeno do eco e levantou a hipótese de que a luz era um movimento ondulatório. Na busca pela definição sobre a natureza da luz surgiram, no século XVII, duas correntes de pensamento científico: a teoria corpuscular da luz, que era defendida por Isaac Newton; e o modelo ondulatório da luz, que era defendido por Christian Huygens. Segundo Newton, a luz era formada por partículas; já Huygens defendia a hipótese de que a luz era uma onda. Essas duas correntes provocaram intensas polêmicas entre os cientistas da época, que marcaram a história da física. No entanto, o conhecimento sobre a verdadeira natureza da luz só foi descoberto no século XIX, após a morte dos defensores dessas teorias.

Os fenômenos ondulatórios são aqueles em que os princípios físicos por trás de seu acontecimento são as ondas. É importante destacar que, na natureza, vários fenômenos podem ser caracterizados como ondulatórios.

Por exemplo, o som que ouvimos quando uma pessoa fala é um tipo de onda. Nesse caso, ouvimos devido à perturbação nas moléculas de ar que se propagam até nosso ouvido, no qual temos uma estrutura capaz de receber e reconhecer essa perturbação.

Já no caso das micro-ondas, utilizadas para fins residenciais, temos a criação e propagação de outro tipo de onda, diferente das ondas sonoras e caracterizado como onda eletromagnética. Podemos perceber, nos dois casos citados, que os tipos de ondas e, portanto, dos fenômenos ondulatórios envolvidos apresentam diferentes naturezas.

Qualquer que seja o tipo de onda, ela está sujeita aos fenômenos da reflexão, refração e difração.

- Reflexão: Ocorrerá reflexão sempre que uma onda atingir determinada superfície e voltar a propagar-se no meio de origem. A onda refletida manterá a velocidade, frequência e comprimento de onda iguais aos da onda incidente.
- Refração: Ocorre refração quando a onda muda seu meio de propagação. A luz do Sol, por exemplo, vem da estrela através do vácuo e sofre refração ao entrar na atmosfera terrestre. Na refração, a velocidade de propagação da onda será alterada, pois a mudança de meio gera mudança no comprimento de onda. A frequência das ondas, por depender da fonte geradora, não é alterada na refração.

Dependendo do meio onde se propaga a onda eletromagnética, esta pode ser refratada ou refletida. Ondas refletidas ou refratadas mudam a velocidade de propagação quando passam por meios diferentes. Por exemplo, as ondas que se movem do espaço livre para o vidro mudam a direção de propagação, isto é, refratam dependendo do valor do índice de refração do material. Além disso, uma porção das ondas pode ser refletida. Também ocorrem mudanças no índice de refração atmosférico quando há diferenças de temperatura, pressão e umidade no meio. Um efeito adverso da refração atmosférica é a probabilidade de uma onda ser transmitida além da área que foi projetada, isso irá causar interferências. Quando as ondas mudam seu percurso, a área de cobertura é alterada. Como as ondas vão de um ponto a outro é fácil encontrar regiões que facilitam o acontecimento deste fenômeno.

Durante a transmissão de sinal de um ponto a outro a onda varia sua potência com o tempo, mesmo que a potência do sinal emitido se mantenha constante. Este fenômeno recebe o nome de atenuação (NETO, 2005). Este fenômeno refere-se à perda de energia do sinal em função de obstáculos e da mobilidade do usuário. No ambiente de propagação da rede celular

há obstáculos móveis, como veículos, que mudam de posição aleatoriamente (PORTELA, 2009).

Ele pode ser:

- Lento: Quando ocorre em longo prazo e é causado por edifícios no ambiente;
- Rápido: Devido à propagação por multipercursos, o sinal varia rapidamente em relação a pequenos deslocamentos do móvel.

2.7 Linhas de transmissão

Linhas de transmissão e guias de onda são estruturas de controle longitudinais usadas para transmitir informações e energia. As linhas de transmissão constituem uma classe especial de guias de onda em que os campos eletromagnéticos se propagam na direção longitudinal da estrutura e, portanto, são controlados por eles. A diferença na terminologia se resume aos tipos de esquemas que uma estrutura pode suportar.

Uma linha de transmissão consiste em uma configuração longitudinal de dois ou mais condutores imersos em um isolador homogêneo que pode suportar um modo eletromagnético transversal (TEM) no qual os campos elétrico e magnético estão inteiramente contidos em um plano perpendicular à direção de propagação. Este comportamento ocorre acima de uma certa frequência acima da qual os modos de ordem superior podem excitar na linha de transmissão. Eles são usados em aplicações de baixa potência para transmitir informações em sistemas de telecomunicações, para transmitir dados entre diferentes partes de circuitos integrados e processadores e para aplicações de alta potência para transmitir energia em sistemas de alta tensão.

No método formal de obtenção do campo em uma linha de transmissão explicado a seguir, os condutores constituintes da linha de transmissão são considerados condutores perfeitos, ou seja, com condutividade infinita, em primeira aproximação. Neste caso, a profundidade através do condutor, que é inversamente proporcional à condutividade, é zero e a EMF não penetra no condutor em função do tempo. Assim, a corrente proporcional ao campo elétrico é limitada à superfície do condutor.

Conforme mostrado abaixo, uma linha de transmissão é frequentemente representada esquematicamente como uma linha de dois fios, pois as linhas de transmissão (para propagação de onda eletromagnética transversal) sempre têm pelo menos dois condutores. O pedaço de linha de comprimento infinitesimal z que pode ser modelada como um circuito de elementos concentrados, conforme mostrado abaixo, onde:

R , L , G e C são quantidades por unidade de comprimento definidas da seguinte forma:

R = resistência em série por unidade de comprimento, para ambos os condutores, em Ω/m .

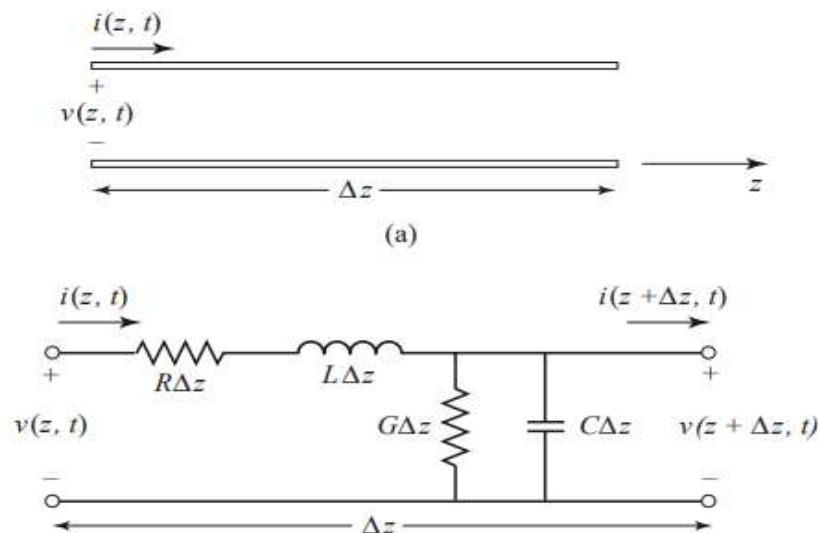
L = indutância série por unidade de comprimento, para ambos os condutores, em H/m .

G = condutância shunt por unidade de comprimento, em S/m .

C = capacitância shunt por unidade de comprimento, em F/m .

A figura 3 a seguir apresenta as definições de tensão e corrente e circuito equivalente para um comprimento incremental de linha de transmissão.

Figura 3 - Definições de tensão e corrente e circuito equivalente para um comprimento incremental de linha de transmissão



Fonte: Elaborado pelo autor

A indutância série L representa a autoindutância total dos dois condutores e a capacitância paralela C é devida à proximidade dos dois condutores. A resistência em série R é a resistência causada pela condutividade limitada dos condutores individuais, e a condutância em paralelo G é o resultado da perda dielétrica entre os condutores. Então R e G representam perda. As linhas de transmissão de um comprimento especificado podem ser consideradas seções consecutivas.

Uma Linha de transmissão é caracterizada pela sua impedância característica Z_0 . Este parâmetro é utilizado para o dimensionamento da linha para seu funcionamento em regime senoidal e representa a impedância que a carga deve ter para haver a máxima transferência de potência entre linha e carga. No regime pulsado como o analisado aqui, preferimos abordar o

problema de forma experimental medindo diretamente o sinal nos terminais da linha conforme descrito adiante do capítulo de resultados.

2.8 Medição de vazão usando indução magnética

A vazão é considerada a variável de processo mais importante nas empresas de saneamento e uma das variáveis mais importantes nos processos industriais. Segundo a história, as primeiras medições do fluxo de água foram feitas pelos egípcios e romanos, cujas obras de água eram tão famosas que um artigo do governador e engenheiro romano Julius Fontinus (40 – 103 dC) O assunto é claramente mencionado.

Por ser uma variável muito importante, a vazão acaba sendo uma das variáveis mais medidas em processos industriais, mas infelizmente no Brasil pouquíssimas empresas de saneamento possuem sistemas de medição de vazão, mesmo sabendo de sua importância, e quando possuem esses sistemas não são sempre confiáveis.

Devido ao status que esta variável de processo alcançou, a vazão é hoje a variável com os mais diversos recursos tecnológicos de medição e, além disso, requer um grande esforço para medi-la em algumas aplicações. Pois, para medir corretamente a vazão, além do desenvolvimento de técnicas de medição já existentes em diversas situações de medição, é necessário muito conhecimento técnico.

Com relação à seleção de um determinado tipo de medidor de vazão para uma determinada aplicação, devido à necessidade do usuário de medir a vazão volumétrica de líquidos, os medidores de vazão eletromagnéticos de carretel ou de inserção baseados na lei de Faraday podem atender satisfatoriamente uma grande porcentagem de medidores de vazão. aplicativo.

Para explicar como funciona um medidor de vazão magnético, vamos agora considerar um medidor de vazão de válvula de carretel. Esses medidores usam um antigo princípio de medição conhecido como lei de Faraday, e muitos fabricantes de instrumentos continuam a desenvolver medidores de vazão com base nesse princípio. Os medidores de vazão eletromagnéticos de carretel atendem a um grande número de aplicações, tais como: medição de vazão de água, xarope de glicose de alta concentração, leite, cerveja e seus derivados, polpa de celulose, polpa de minério, ácido em geral, efluentes industriais, lodo, pasta, etc.

Para ser especificado na aplicação, basta que o líquido tenha uma condutividade mínima (tipicamente 5uS/cm). De acordo com sua pressão, temperatura e vazão na tubulação de

processo, a vazão desse líquido pode ser medida corretamente de acordo com a necessidade do usuário.

As leis de Faraday foram demonstradas pela primeira vez em 1832 pelo cientista Michael Faraday, que foi pioneiro no desenvolvimento de vários dispositivos baseados em suas leis, um dos quais foi o medidor de vazão eletromagnético.

O primeiro medidor de vazão eletromagnético de carretel foi desenvolvido por um cientista suíço em 1932. No entanto, a tecnologia se consolidou no final da década de 1970.

Embora o instrumento seja baseado no princípio antigo, ele ainda é aperfeiçoado e personalizado por alguns fabricantes para determinadas aplicações. A lei de Faraday usada para medidores de fluxo determina que os líquidos podem induzir energia elétrica através de um campo magnético. A energia elétrica passou a vertical líquida para o campo magnético, ou seja, F.E.M. é diretamente proporcional à sua taxa de fluxo líquido. É importante enfatizar que o líquido deve ter a condutividade mínima, geralmente 5US/cm.

Devido ao campo magnético usado na indução, o material do tubo do instrumento deve ser substâncias não magnéticas para evitar a direção do campo magnético gerado ou modificado. Ao inserir dois eletrodos inseridos no plano perpendicular ao campo magnético, a energia elétrica induzida pelo ar pode ser medida.

De qualquer forma, é necessário observar cuidadosamente a condutividade mínima exigida pela temperatura, pressão e vazão da temperatura, pressão e vazão da vazão, pressão e vazão magnética. No medidor de fluxo magnético, seu campo magnético pode ser gerado por ímãs ou bobinas permanentes estimuladas por CA ou corrente contínua.

Enquanto a condutividade for maior que o mínimo necessário, a energia elétrica induzida (dada na micro -tensão) não é afetada pela temperatura, viscosidade, pressão, turbulência, densidade e condutividade específicas/relativas.

A determinação da Força Eletromotriz Induzida é regida pela seguinte equação:

$$F.E.M. = Kg.B.L.v \quad (\text{equação 02})$$

Onde:

f.e.m. = Força Eletromotriz Induzida (tensão induzida nos eletrodos)

Kg = Constante Geométrica

B = Campo Magnético gerado pelas bobinas

L = Distância entre os eletrodos

v = Velocidade do fluido

Uma vez que temos K , B e L constantes podemos simplificar nossa equação sendo:

$$F.E.M = K * v$$

Podemos observar que a tensão induzida fem é diretamente proporcional à Velocidade de escoamento do fluido porém, notamos que há um fator multiplicador à velocidade denominado K . Este fator multiplicador é o famoso “Fator K ” dos medidores eletromagnéticos. Este fator é imprescindível para o perfeito funcionamento do medidor e o seu levantamento, obrigatoriamente, deve ser realizado pelo fabricante após a fabricação do tubo medidor (sensor) e a única forma de determiná-lo, seria submetendo o sensor a uma calibração realizada em bancada apropriada.

Uma das principais qualidade de um metro é que ele é repetido, que é a característica do medidor magnético. No entanto, a curva de resposta do instrumento de fabricação não é linear.

Após a calibração na área de trabalho adequada, o fabricante pode determinar a constante do instrumento ou seu "fator K ", que converte a curva de resposta do instrumento em uma curva de resposta ideal.

Sendo a vazão determinada da seguinte forma, uma vez que conhecemos a velocidade média de escoamento do fluido e conseguimos medi-la de forma exata com este sistema de medição quase perfeito, basta então multiplicá-la pela área da seção do medidor que pode ser determinada pela equação:

$$A = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \quad (\text{equação 03})$$

Onde:

A = área

$\pi = 3,14159265$

D = diâmetro

Logo temos:

$$Q = FEM \cdot K \cdot A \quad (\text{equação 04})$$

Onde:

Q = vazão

fem = Força Eletromotriz Induzida

K = Constante de Calibração determinado pelo fabricante

$A = \text{Área}$

Embora o instrumento eletromagnético do eixo do fio seja uma de suas desvantagens, mesmo que o diâmetro aumente e seus altos custos instalados no diâmetro de grandes redes, às vezes é inevitável que seja inevitável. Devido a esse aspecto, a economia de instalar um instrumento eletromagnético de eixo em grande escala não é viável, resultando em alguns fabricantes de instrumentos eletromagnéticos começam a desenvolver um instrumento eletromagnético.

Infelizmente, a tecnologia de inserção eletromagnética não fornece a mesma precisão que o instrumento eletromagnético do eixo de arame. Geralmente, o erro do Forcemômetro Magnético de Roll é inferior a 0,5 % das leituras, e o erro do instrumento magnético de plugue real é menor que os 2 % das leituras, e depende dos padrões de sua instalação, que pode ser inferior a 1 % do erro de leitura. Dependendo da aplicação, o verdadeiro instrumento de inserção eletromagnética pode ser usado e, no caso das empresas de saúde, a aplicação dessa tecnologia é completamente viável.

Na década de 1990, começaram a aparecer no mercado os primeiros medidores magnéticos para veículos e, embora funcionem com o mesmo princípio dos medidores solenóides, é lamentável que a tecnologia não fosse tão perfeita quanto a dos medidores solenóides. Isso se deve a uma variável conhecida como perfil de velocidade, que se não for conhecida e aplicada a uma escala de entrada magnética pode levar a erros de medição muito altos.

Os medidores de entrada magnética podem ser pensados como um híbrido entre um medidor de vazão de bobina magnética e um tubo de pitot. Esta afirmação é verdadeira porque esta tecnologia usa conceitos de ambas as tecnologias. Ao contrário dos medidores de vazão de bobina magnética, a medição de velocidade em medidores de vazão de entrada magnética é pontual, ou seja, a fem induzida é gerada devido ao vetor de velocidade que passa pela ponta do sensor no ponto exato da sua entrada.

Apesar de possuírem a mesma tecnologia, a medição da vazão utilizando o magnético de inserção, deve ser munida de alguns cuidados, partindo da equação 08, teremos a velocidade:

$$Q = V.A \quad (\text{equação 05})$$

Onde:

$Q = \text{vazão}$

v = Velocidade média

A = Área

Sabemos que em razão da viscosidade do fluido e da rugosidade do tubo, gera-se um atrito entre a parede do tubo e o fluido causando uma deformação nos infinitos vetores velocidade dentro do tubo gerando assim o que conhecemos como perfil de velocidade de escoamento fluídico dentro do tubo, que na condição turbulenta ($Re > 4000$) e considerando um trecho reto adequado, obtemos um perfil de fluxo laminar.

Teoricamente, o vetor velocidade de maior módulo é encontrado no centro da tubulação e o vetor velocidade média é encontrado a $1/8$ ou $7/8$ do diâmetro do tubo. Infelizmente, em condição real nem sempre temos um perfil de velocidade uniforme como o ilustrado na figura acima, e por isso, nem sempre podemos afirmar que o vetor velocidade máxima está exatamente no centro do tubo ou ainda que o vetor velocidade média encontra-se a $1/8$ ou $7/8$ do diâmetro. Como a vazão é obtida pela multiplicação da velocidade média pela área e o medidor é capaz de medir apenas a velocidade pontual, há a necessidade de ser inserido o primeiro fator de correção, aqui denominado como K_p , na equação de determinação da vazão para os medidores magnéticos de inserção, ou seja, um fator que irá transformar o vetor velocidade medido em um vetor que corresponderá à média de todos os vetores. Logo teremos:

$$Q = A \cdot V \cdot K_p \quad (\text{equação 06})$$

Onde:

Q = Vazão

A = Área

V = velocidade pontual

K_p = Fator de Correção do Perfil

Agora que nossa velocidade foi corrigida, precisamos de nos atentar para outro fator de correção. Por se tratar de um medidor de inserção, a área da seção de medição não é mais determinada pela simples aplicação de fórmula. A área passa a ser a área do tubo menos a área de inserção e por isso, outro fator imprescindível nos medidores magnéticos de inserção é o que chamamos de Coeficiente de Inserção, aqui denominado como K_i .

Podemos observar através da ilustração acima que a área da seção de medição é na verdade a área do tubo menos a área de inserção do sensor logo, a equação da medição da vazão regida pelos medidores de inserção passa para:

$$Q = A.Ki.V.Kp \quad (\text{equação 07})$$

Onde:

Q = Vazão

A = Área

Ki = Coeficiente de inserção

V = velocidade pontual

Kp = Fator de Correção do Perfil

Se expandirmos a equação acima para apresentar a fem, podemos observar que um medidor magnético de inserção necessita de no mínimo três tipos de constantes de correção, vejamos:

$$Q = A.Ki.FEM.K.Kp \quad (\text{equação 08})$$

Onde:

Q = Vazão

A = Área

Ki = Coeficiente de inserção

fem = Força Eletromotriz Induzida

K = Constante de Calibração determinado pelo fabricante

Kp = Fator de Correção do Perfil

É importante definir uma constante K neste ponto, pois uma vez especificada pelo fabricante ela não pode ser modificada. Caso o operador faça alguma alteração nesta constante para fazer qualquer tipo de correção, a linearidade do medidor será muito afetada e certamente resultará em medições imprecisas.

Conhecendo as constantes mínimas para operação ideal do contador de entrada magnética, é fácil obter:

- a) A constante K deve ser especificada pelo fabricante e gravada no corpo do sensor, devendo o transdutor do medidor possuir um campo específico para a entrada deste valor;
- b) A constante Ki é obtida a partir de uma equação que relaciona o diâmetro do tubo e o tamanho do sensor. Os verdadeiros medidores de entrada magnética geralmente têm equações internas que calculam automaticamente o Ki quando você informa qual diâmetro do tubo instalar e onde inserir o sensor;
- c) Em terceiro lugar, a constante Kp, embora possa ser determinada automaticamente pelo

antiímã de entrada, dada a distribuição de velocidade ideal, é recomendável em situações práticas medi-la medindo distâncias ou mesmo usando o mesmo medidor, e então o valor calculado deve ser inserido manualmente.

Calcular K_p é muito simples:

$$K_p = V_m/V_c \quad (\text{equação 09})$$

Onde:

K_p = Fator de Correção do Perfil

V_m = Velocidade Média

V_c = Velocidade Central

Os verdadeiros medidores de entrada magnética devem ter um transdutor dedicado para este tipo de sensor e ser capaz de inserir o diâmetro real do tubo e o local de inserção do sensor no transdutor. A partir dessas informações, o multímetro deve calcular automaticamente o fator de correção de interpolação. Além do campo de entrada da constante do sensor K especificado pelo fabricante, o transdutor também deve ter um campo de entrada de correção da curva de velocidade. Tal como acontece com o medidor de pressão solenoide, espere que ele tenha detecção de tubo vazio, autodiagnóstico de adaptadores de sensor de montagem, etc.

Muitos fornecedores oferecem ao mercado o que chamamos de interruptores de fluxo (medidores de energia pseudomagnética). Como resultado, os usuários dessas peças obtêm resultados insatisfatórios em alguns casos. Infelizmente, isso tornou a experiência de medição do cliente tão ruim que desacreditou a tecnologia do medidor de entrada magnética. Embora pareça complicado, instalar um medidor de vazão de entrada magnética é muito simples. Antes de adquirir este tipo de medidor, o cliente deve certificar-se de que o fornecedor oferece medidores que atendam às condições mínimas acima, bem como suporte técnico pós-venda que possa orientar os técnicos que precisarem instalar o produto.

2.9 Efeito capacitivo

O efeito capacitivo é um fenômeno elétrico que ocorre quando duas superfícies condutoras são separadas por um dielétrico (material isolante), formando assim um capacitor.

Um capacitor é um componente eletrônico que armazena energia elétrica na forma de cargas elétricas separadas em duas placas condutoras. O dielétrico é um material isolante que é

colocado entre as placas para evitar que elas se toquem e para aumentar a capacidade de armazenamento do capacitor.

O efeito capacitivo é utilizado em diversas aplicações, como em capacitores usados em circuitos eletrônicos, em sensores de umidade, em telas sensíveis ao toque de dispositivos eletrônicos, entre outros.

Além disso, o efeito capacitivo pode ter impacto em aplicações onde a proximidade de superfícies condutoras pode afetar a impedância elétrica, o ruído e a interferência eletromagnética. Por exemplo, em cabos elétricos, a proximidade de diferentes fios pode gerar capacitâncias parasitas que afetam a transmissão de sinal. Em circuitos integrados, a proximidade de trilhas condutoras pode gerar capacitâncias parasitas que afetam o desempenho do circuito. Por isso, o projeto de circuitos eletrônicos e a disposição de componentes eletrônicos devem levar em conta o efeito capacitivo para evitar interferências e garantir um desempenho adequado do sistema.

Assim, podemos tratar o efeito capacitivo como sendo a constante de proporcionalidade entre carga e tensão elétrica, a capacitância, depende somente da geometria das placas, e não da carga ou da diferença de potencial. Sendo a capacitância a quantidade de carga acumulada nas placas do capacitor necessária para produzir uma certa diferença de potencial, quanto maior a capacitância, maior a carga.

A capacitância se verifica sempre que dois condutores estiverem separados por um material isolante, formando assim um capacitor. Assim, a capacitância depende do dielétrico que se introduza entre as duas superfícies do condensador. Quanto maior for a constante dielétrica do material não condutor introduzido, maior será a capacitância. Em um capacitor carregado, a carga dos condutores, chamados de placas, é igual em ambos e possui somente o sinal oposto.

Carregar um capacitor é, por exemplo, colocá-lo em um circuito elétrico com um gerador de tensão. Ao ser submetido à passagem de corrente elétrica, as placas do capacitor tornam-se carregadas com a mesma carga, em módulo, mas com sentidos opostos, uma carregada negativamente e a outra carregada positivamente.

2.10 Sensor de efeito Hall

Em 1879, Edwin Hall descobre, no movimento de elétrons sujeito a um campo magnético, um efeito resultado da força de Lorentz. Ele percebeu que as linhas equipotenciais

que cruzam perpendicularmente um fluxo de corrente, de um material que não está exposto a um campo magnético, são linhas retas.

A montagem experimental consiste em ligar um campo magnético constante, B apontando na direção z . Enquanto isso, os elétrons estão restritos a se mover apenas no (x, y) . Uma corrente constante I é feita para fluir na direção x . O efeito Hall é a afirmação de que isso induz uma voltagem VH na direção y . Isso é mostrado na figura à direita.

O efeito Hall surge do fato de que um campo magnético faz com que partículas carregadas se movam em círculos. A equação de movimento para uma partícula de massa m e carga e em um campo magnético é dado por $m \frac{d\vec{v}}{dt} = -e\vec{v} \times \vec{B}$.

Quando o campo magnético aponta na direção z , de modo que $B = (0, 0, B)$, e a partícula se move somente no plano transversal, então $\vec{v} = (x, y, 0)$, as equações de movimento tornam-se duas equações diferenciais acopladas cuja solução são: $x(t) = X - R\sin(\omega Bt + \varphi)$ e $y(t) = Y + R\cos(\omega Bt + \varphi)$, onde $\omega B = eB/m$ é a frequência ciclotrônica.

A força de Lorentz no movimento de elétrons no material é descrita pela equação:

$$\vec{F} = (q \cdot \vec{v}) \times \vec{B} \quad (\text{equação 10})$$

onde:

q : carga do elétron

$\vec{B}$: vetor campo magnético

$\vec{v}$: vetor velocidade da carga q

O produto vetorial indica que a força tem uma direção mutuamente perpendicular ao fluxo de corrente e ao campo magnético. Entretanto, ao nos depararmos com um fluxo de corrente de um material exposto a um campo magnético perpendicular, o ângulo do fluxo da corrente alterado pelo campo magnético é chamado de ângulo Hall, sendo que este ângulo é intrínseco ao material, o qual é determinado pela mobilidade dos elétrons que determinam o coeficiente Hall. Neste caso, as linhas equipotenciais ao longo do comprimento do material são inclinadas, e isso nos leva a tensão de Hall medida ao longo do material, ou seja, tem-se uma tensão proporcional ao campo magnético aplicado (HASANUSTA, 2016; MECATRÔNICA, 2013).

Equacionando a teoria do funcionamento do sensor Hall, tem-se a equação 3 para determinar a tensão Hall:

$$V_{HALL} = \frac{RH}{d} (i \cdot B) \quad (\text{equação 11})$$

Onde:

d = espessura do material

i = módulo corrente conduzida

B = módulo do campo magnético aplicado

RH = constante Hall do material

$VHALL$ = tensão Hall

Nesta dissertação, o efeito Hall é parte na janela de possibilidades para geração de pulsos eletromagnéticos.

2.11 Fenômeno de Gibbs

Segundo Lathi (2007), um comportamento intrigante foi observado em um objeto simples, um sintetizador de ondas mecânico, e, então, todos os matemáticos conhecidos na época partiram na busca para identificar o que estava oculto.

Albert Michelson (da célebre Michelson-Morley) foi um homem enérgico e prático que desenvolveu instrumentos físicos engenhosos de extraordinária precisão, a maioria na óptica. Seu analisador harmônico, desenvolvido em 1898, podia calcular os primeiros 80 coeficientes da série de Fourier de um sinal $x(t)$ especificado por qualquer descrição gráfica. O instrumento também podia ser utilizado como sintetizados harmônico, o qual traçava uma função $x(t)$ gerada pela soma dos primeiros 80 harmônicos (componentes de Fourier) de amplitudes e fases arbitrárias. Esse analisador, portanto, tinha a habilidade de verificar sua própria operação pela análise de uma sinal $x(t)$ e, então, comando as 80 componentes resultantes, verificar quão perto a aproximação estava de $x(t)$.

Michelson observou que o instrumento verificava muito bem a maioria dos sinais analisados. Entretanto, quando tentou analisar uma função descontínua, tal como uma onda quadrada, um comportamento curioso foi observado. A soma das 80 componentes mostrava um comportamento oscilatório com um sobre-sinal de 9% na proximidade dos pontos de descontinuidade. Além disso, esse comportamento era uma característica constante independentemente do número de termos somados. Um grande numero de termos tornava as oscilações proporcionalmente mais rápidas, mas independente do numero de termos somado, o sobre-sinal permanecia em 9%. Esse comportamento intrigante fez com que Michelson suspeitasse de algum defeito mecânico em seu sintetizador. Ele escreveu sua observação em um artigo de Nature (dezembro de 1898). Josiah Willard Gibbs, professor em Yale, investigou e elucidou esse comportamento para um sinal de dente de serra periódico em um artigo em

Nature. Posteriormente, em 1906, Bôcher generalizou o resultado para qualquer função de descontinuidade. Foi Bôcher que deu o nome de fenômeno de Gibbs a esse comportamento. Gibbs mostrou que o comportamento peculiar na síntese de uma onda quadrada era inerente ao comportamento da série de Fourier, devido à convergência não uniforme nos pontos de descontinuidade.

Entretanto, não foi o fim da história. Tanto Bôcher quanto Gibbs estavam com a impressão de que essa propriedade tinha permanecido oculta até o trabalho publicado por Gibbs em 1899. Sabe-se, agora, que o chamado fenômeno de Gibbs havia sido observado em 1848 por Wilbrahan do Trinity College, Cambridge, o qual viu claramente o comportamento da soma dos componentes da série de Fourier do sinal periódico de dente de serra, posteriormente investigado por Gibbs. Aparentemente, seu trabalho não era conhecido por várias pessoas, incluindo Gibbs e Bôcher

Em resumo a convergência das somas parciais da série de Fourier de uma função suave por partes em torno de um salto apresenta oscilações cujas amplitudes não convergem para zero. A convergência ponto a ponto acontece, mas se olharmos para o valor absoluto da diferença entre a função e soma parcial sempre encontramos um ponto onde esse valor é aproximadamente 9% da amplitude do salto.

Consideramos agora uma função f de período $2L$, onde f e f' são ambas contínuas por seções. Como citado anteriormente, a série de Fourier que aproxima f , converge pontualmente para os pontos onde não há descontinuidade. Já nos pontos de descontinuidade não ocorre o mesmo, Gibbs estudou a convergência da série de Fourier na “vizinhança” destes pontos, descobrindo uma perturbação, este fenômeno é conhecido como fenômeno de Gibbs.

2.12 Impedância

A impedância elétrica (ou simplesmente impedância) é a razão entre o fasor de tensão e o fasor da corrente. Todo material apresenta uma impedância, em maior ou menor grau. Materiais condutores apresentam uma baixa impedância, ou seja, são facilmente atravessados por corrente elétrica, enquanto materiais isolantes (não condutores) apresentam altas (ou altíssimas) impedâncias, não deixando que a corrente elétrica os atravesse.

A medição é feita em Ohms, e seu símbolo é uma simpática ferradura (Ω), símbolo originário do alfabeto grego, indicativo da letra Ômega. O nome é uma homenagem ao físico alemão George Simon Ohm, quem primeiro descreveu estes fenômenos no início do século XIX. Materiais condutores apresentam poucos Ohms de resistência, enquanto materiais

isolantes apresentam milhares (k), sendo o K indicativo de mil ou milhões (M), sendo o M indicativo de milhão, de Ohms de impedância.

A letra “Z” é indicada para representar a impedância elétrica. Em áudio, encontramos em Direct Boxes e em alguns cubos para instrumentos conexões chamadas de “High Z” e “Low Z”, indicando conexões para equipamentos de alta impedância e de baixa impedância.

Entendemos as relações tensão-corrente para três elementos de uma linha de transmissão’ (resistor R, indutor L e capacitor C), como:

$$V = RI, V = j\omega LI, V = \frac{I}{j\omega C} \quad (\text{equação 12})$$

Para obter a Lei de Ohm na forma fasorial, temos:

$$\frac{V}{I} = R, \frac{V}{I} = j\omega L, \frac{V}{I} = \frac{1}{j\omega C} \quad (\text{equação 13})$$

Assim, concluímos que a Lei de Ohm para fasores é:

$$\frac{V}{I} = Z, V = ZI \quad (\text{equação 14})$$

Em que Z é um valor que depende da frequência sendo chamado de impedância, cuja unidade é Ohms (Ω).

Tabela 1 - Relação entre elementos e sua impedância

Elemento	Impedância
R	$Z=R$
L	$Z=j\omega L$
C	$Z=1/j\omega C$

Fonte:Elaborado pelo autor

Podemos observar na tabela que a impedância do indutor e do capacitor são, respectivamente, $Z_L = j\omega L$ e $Z_C = -j/\omega C$. Ao considerar dois casos extremos de frequência angular, teremos:

$$\omega = 0 \{Z_L = 0 \text{ e } Z_C \rightarrow \infty\} \quad (\text{equação 15})$$

Onde, $\omega=0$ significa um circuito com fontes CC. Nesse caso temos o comportamento já estudado: o indutor atua como um curto-circuito, já o capacitor opera como um circuito aberto.

$$\omega = \infty \{Z_L \rightarrow \infty \text{ e } Z_C = 0\} \quad (\text{equação 16})$$

Onde, $\omega = \infty$ significa um circuito com alta frequência. Nesse caso temos que, em alta frequência, o indutor é um circuito aberto e o capacitor é um curto-circuito.

Por ser um valor complexo, a impedância pode ser expressa na forma retangular:

$$Z = R + jX \quad (\text{equação 17})$$

Em que R é a resistência e a parte real de Z , enquanto X é a reatância e a parte imaginária de Z . A reatância pode ser positiva ou negativa, se for positiva chamamos a impedância de indutiva, se for negativa chamamos de capacitiva.

O fator determinante para a determinação da impedância em um circuito RLC ser do tipo (indutiva ou capacitiva) é a frequência aplicada. Isso acontece, pois em frequências baixas, os elementos capacitivos (de maneira geral) fornecem a maior contribuição para a impedância total, já em frequências altas, os elementos indutivos são os responsáveis pela maior contribuição para a impedância total. Isso pode ser observado na análise do comportamento dos elementos para $\omega = 0$ e $\omega = \infty$ feito anteriormente.

A impedância também pode ser escrita na forma polar:

$$Z = |Z| \angle \theta \quad (\text{equação 18})$$

É importante reforçar alguns pontos sobre a impedância:

É uma quantidade que representa a oposição do circuito ao fluxo de corrente senoidal;

Por mais que seja a razão entre dois fasores, a impedância não é um fasor. Isso porque não apresenta comportamento de uma senoide, pois não apresenta variação no tempo.

2.13 Admitância

A admitância é o inverso da impedância e é medida em Siemens (S). Assim, a admitância Y de um circuito é a razão entre a corrente fasorial e a tensão fasorial do circuito.

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{I}{V} \quad (\text{equação 19})$$

Tabela 2 - Relação entre elementos e sua admitância

Elemento	Admitância
R	$Y=1/R$
L	$Y=1/j\omega L$
C	$Y=j\omega C$

Fonte:Elaborado pelo autor

Por ser um valor complexo, a admitância pode ser expressa na forma retangular:

$$Y = G + jB \quad (\text{equação 20})$$

Em que G é a condutância e a parte real de Y e B é a susceptância e parte imaginária de Y. Tanto admitância, condutância e susceptância são expressas na unidade Siemens (ou mhos).

Para determinar o valor da condutância e susceptância, consideramos:

$$Y = G + jB = \frac{1}{R + jX} \quad (\text{equação 21})$$

Racionalizando a parte imaginária:

$$G + jB = \frac{1}{R + jX} \cdot \frac{R - jX}{R - jX} = \frac{R - jX}{R^2 + X^2} \quad (\text{equação 22})$$

Separando a parte real da imaginária, temos:

$$G = \frac{R}{R^2 + X^2} \text{ e } B = \frac{X}{R^2 + X^2} \quad (\text{equação 23})$$

Dessa forma, observamos que $G=1/R$ somente se $X=0$.

Em algumas situações é mais conveniente trabalhar com a admitância

2.14 Escalabilidade

A escalabilidade é a variação no fator de escala que permite variar o volume de objetos mantendo-se a proporcionalidade da métrica inicial. Na indústria é utilizada a escalabilidade, tanto aumentando quanto reduzindo a escala para desenvolver novos projetos e adaptar

equipamentos. Este processo viabiliza economicamente o projeto e permite fazer alterações e criação em protótipos a custo reduzido com eficácia e qualidade (JOGALEKAR, 2000).

Na economia, a escalabilidade é de extrema importância para a redução dos custos médios de produção, devido a um aumento dos custos totais de produção proporcionalmente menor que o aumento da produção de produtos. Esta expansão da capacidade de produção é possível graças à escalabilidade de seus processos, antes do aumento, para averiguar os impactos no aumento da escala, sem interferir nos processos (BANNOCK et al, 2003).

A escalabilidade tem como objetivo uma adaptação de novas tecnologias relacionadas às operações industriais, tanto para a automação de processos quanto para o apoio em projetos de engenharia (TORRES, 1995).

O conceito de escalabilidade fundamenta-se no aumento de escala de um sistema ou processo e a capacidade dos mesmos de absorvê-las. Observa-se a necessidade da escalabilidade no sistema ou processo, quando, em sua concepção, há a suscetibilidade e capacidade deste aumento ocorrer, de modo que haja uma expansão em seu volume (BONDI, 2000).

Nesta dissertação, o sistema desenvolvido usa o conceito de escalabilidade para o seu desenvolvimento.

2.15 Incertezas de medição

O resultado de uma medição é apenas a melhor estimativa do tal valor verdadeiro do mensurando e, na ausência de efeitos sistemáticos, geralmente é obtido pela média aritmética de N medições repetidas do mesmo mensurando (VIM, 2008). A incerteza de medição está relacionada ao resultado da medição, e não ao valor verdadeiro do mensurando, o qual na prática não é conhecido.

A incerteza está relacionada a um valor de medição, que é o resultado da medição, e não ao valor verdadeiro do mensurando, o qual na prática não é conhecido. O resultado da medição é apenas a melhor estimativa de tal valor verdadeiro e, na ausência de efeitos sistemáticos, geralmente é obtido pela média aritmética de N medições repetidas do mesmo mensurando (VIM, 2008).

A incerteza caracteriza uma faixa de dispersão ou intervalo, e não um valor pontual. Nesse sentido, a incerteza não deve ser confundida com erro, pois esse último é um valor pontual e não uma faixa. O erro usualmente pode ser corrigido, quando aplicado um fator de correção adequado. Já a incerteza é a dúvida remanescente associada ao resultado da medição. Ela mede o grau de desconhecimento sobre aquilo que está sendo medido.

Como um resultado de uma medição é uma estimativa do valor verdadeiro do mensurando, a determinação da incerteza expressa o grau de dúvida associado ao resultado da medição. A incerteza corresponde a uma faixa de valores que podem ser atribuídos fundamentadamente ao mensurando (VIM, 2008), isto é, de uma forma fundamentada e realista (JORNADA, 2009).

A incerteza possibilita a comparação das medições e é particularmente útil na tomada de decisões. Quando há um limite de tolerância máximo ou mínimo para o mensurando, seja ele estabelecido por uma legislação ou de alguma outra forma, a incerteza torna-se imprescindível para a interpretação correta do resultado da medição (JORNADA, 2009).

O resultado da medição é uma função das entradas do sistema de medição (variáveis), ou seja, faz-se um modelo matemático relacionado às variáveis que influenciam o sistema de medição, causando alterações no resultado da medição.

As incertezas associadas às variáveis do modelo matemático da medição são classificadas como sendo do Tipo A ou Tipo B (ISO-GUM, 2003).

A avaliação do Tipo A da incerteza é a que emprega uma análise estatística de uma série de observações repetidas no momento do ensaio/calibração, podendo ser expressa pelo desvio padrão experimental da média.

A avaliação do Tipo B é o método que emprega outros meios que não a análise estatística de uma série de observações repetidas no momento do ensaio/calibração. Nesse caso, a avaliação da incerteza é baseada em outros conhecimentos, tais como (JORNADA, 2009):

- a) dados históricos de desempenho do método de medição;
- b) incertezas herdadas da calibração dos equipamentos e padrões;
- c) especificações dos equipamentos e padrões;
- d) faixa de condições ambientais, entre outros.

Para avaliação da incerteza padrão neste trabalho foi utilizado o método de avaliação da incerteza do Tipo A, ou seja, avaliação de uma componente da incerteza de medição por uma análise estatística dos valores medidos sob condições definidas de medição (ISO-GUM, 2003; VIM, 2008).

Na maioria dos casos, a melhor estimativa disponível da esperança ou valor esperado μ_q de uma grandeza q que varia aleatoriamente e para a qual n observações independentes q_k foram obtidas sob as mesmas condições de medição, é a média aritmética ou média $\bar{q}$ das n observações:

$$q = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k \quad (\text{equação 24})$$

onde:

q é a média aritmética das medições;

n é o número de medições;

q_k é uma medição individual.

Assim, para uma grandeza de entrada Q_i estimada a partir de n observações repetidas independentes $Q_{i,k}$, a média aritmética de Q_i .

$$q = f(q_1, q_2, \dots, q_n) \quad (\text{equação 25})$$

onde:

q é resultado da medição;

q é a média aritmética das medições;

f é a função das medições individuais q_k ;

q_k é uma medição individual.

Para determinar valor por causa de variações aleatórias nas grandezas de influência, ou dos efeitos aleatórios. A variância experimental das observações, que estima a variância σ^2 da distribuição de probabilidade de q , é dada por:

$$s^2(q_k) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (q_k - q)^2 \quad (\text{equação 26})$$

onde:

$s^2(q_k)$ é a variância experimental de uma medição individual;

n é o número de medições;

q_k é uma medição individual;

q é a média aritmética das medições.

Esta estimativa da variância e sua raiz quadrada positiva $s(q_k)$, denominada desvio padrão experimental, caracteriza a variabilidade dos valores q_k observados ou, mais especificamente, sua dispersão em torno de sua média q .

$$s(q_k) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (q_k - q)^2} \quad (\text{equação 27})$$

onde:

$s(q_k)$ é o desvio padrão experimental de uma medição individual;

n é o número de medições;

q_k é uma medição individual;

q é a média aritmética das medições.

A melhor estimativa de $\sigma^2(q) = \sigma^2/n$, a variância da média, é dada por:

$$s^2(q_k) = \frac{s^2(q_k)}{n} \quad (\text{equação 28})$$

onde:

$s^2(q)$ é a variância experimental da média das medições;

$s^2(q_k)$ é a variância experimental de uma medição individual;

q é a média aritmética das medições;

q_k é uma medição individual;

n é o número de medições.

A variância experimental da média $s^2(q)$ e o desvio padrão experimental da média $s(q)$, igual à raiz quadrada positiva de $s^2(q)$, quantificam quão bem q estima a esperança μ_q de q , e qualquer um dentre eles pode ser usado como uma medida da incerteza de q .

$$s(q) = \frac{s^2(q_k)}{\sqrt{n}} \quad (\text{equação 29})$$

onde:

$s(q)$ é o desvio padrão experimental da média das medições;

$s(q_k)$ é o desvio padrão experimental de uma medição individual;

q é a média aritmética das medições;

q_k é uma medição individual;

n é o número de medições.

Conforme EA (1999) e também (ISO-GUM, 2003; VIM, 2008) a incerteza expandida de medição U , é obtida pela multiplicação da incerteza padrão $u(q) = s(q)$ da estimativa de saída q por um fator de abrangência k_p , baseado em curvas estatísticas segundo a distribuição t de Student:

$$U = kpu(q) \quad (\text{equação 30})$$

Onde:

U é a incerteza expandida de medição;

kp é o fator de abrangência;

u(q) é a incerteza padrão.

Conforme Jornada (2009) em incerteza de medição os laboratórios usualmente utilizam planilhas eletrônicas do tipo Excel® ou similar. A validação de tais planilhas é fundamental e deve ser atentamente verificada pelo avaliador. Para a validação, empregam-se normalmente uma das seguintes estratégias:

- a) reproduzir os cálculos manualmente e verificar se os resultados obtidos são iguais aos da planilha eletrônica;
- b) conferência de fórmulas; nesse caso, verifica-se se todas as fórmulas constantes na planilha estão corretas e se essas referenciam as células pertinentes da planilha.

Segundo Jornada (2009), ainda que a primeira estratégia seja a mais empregada, ela também é a mais trabalhosa e a mais propensa a erros. Por essa razão, a segunda estratégia é normalmente mais recomendada. Assim, optou-se pela utilização da planilha eletrônica do Microsoft Office Excel® para calcular as incertezas envolvidas nas medições de vazão, realizando dupla conferência das fórmulas.

2.15.1 Incerteza dos medidores geradores de pressão diferencial por placas de orifício

A incerteza combinada na medição dos elementos geradores de pressão diferencial pode ser avaliada na equação abaixo, que consta nas normas ISO 5167 e ISO 5168.

$$iQm = \pm \sqrt{(i_c)^2 + \left(\frac{2\beta^4}{1-\beta^4}\right)^2 \cdot (i_p)^2 + \left(\frac{2}{1-\beta^4}\right)^2 \cdot (i_p)^2 + (i_g)^2 + \frac{1}{4}(i_{\Delta p})^2 + \frac{1}{4}(i_p)^2} \% \quad (\text{equação 31})$$

Sendo:

iQm a incerteza sobre a vazão mássica;

iC a incerteza sobre o coeficiente de descarga;

i_D a incerteza sobre o diâmetro D ;

i_d a incerteza sobre o diâmetro d ;

i_s a incerteza sobre o fator isentrópico;

$i_{\Delta p}$ a incerteza sobre a pressão diferencial;

i_ρ a incerteza sobre a massa específica.

A incerteza relativa ao coeficiente de descarga, estabelecida nas normas sobre placas de orifício, é chamada convencionalmente de incerteza aleatória. É estimada estatisticamente e associada a um nível de confiança de 95% (DELMÉE, 2003). Em consequência há uma probabilidade de 95% de que o valor verdadeiro esteja dentro da faixa de mais ou menos o valor percentual da incerteza. Ao aplicar a equação do cálculo da incerteza de um elemento gerador de pressão diferencial objetivando um nível de confiança de 95%, a incerteza de cada variável deveria ter um grau de confiança de 95%, por coerência com a incerteza i_C , que de fato, é definida pelas normas como tendo esse grau de confiança.

2.15.2 Incerteza dos medidores eletromagnéticos

Na parte de definição das incertezas de medição, é apresentada uma equação para avaliá-las, referida ao desvio padrão. Utilizando-se esta equação, pode-se estabelecer qual a incerteza sobre a vazão i_{qv} corresponde a 95% de nível de confiança, é (DELMÉE, 2003):

$$i_{qv} = \pm \sqrt{(i_s)^2 + (i_r)^2 + (i_f)^2 + (i_c)^2} \% \quad (\text{equação 32})$$

Onde:

i_s é a incerteza relacionada aos erros sistemáticos na medição do sinal de saída;

i_r é a incerteza relacionada aos erros aleatórios na medição do sinal de saída;

i_f é a incerteza decorrente das condições de escoamento;

i_C é a incerteza relacionada às condições de calibração.

2.14.3 Incerteza dos medidores lineares de área variável

Para medições precisas, desenvolveram-se curvas de influência da viscosidade baseadas em critério de escoamento semelhante ao número de Reynolds.

Desenvolveu-se uma equação para um número de Reynolds apropriado para rotâmetros, a qual permite estabelecer curvas de influência da viscosidade sobre a indicação do medidor. A equação que introduz a viscosidade é a seguinte (DELMÉE, 2003; BEGA, 2006):

$$Re = k(\alpha^2 - \alpha) \sqrt{\frac{8}{\pi}} \left(\frac{\sqrt{F \cdot \rho}}{\mu} \right) \quad (\text{equação 33})$$

Sendo:

Re é o número de Reynolds;

K é um coeficiente semelhante ao coeficiente de descarga C para as placas de orifício;

α é o diâmetro do tubo D na posição em que se equilibra o flutuador dividido pelo o diâmetro do flutuador D_f (m);

F é a diferença entre força da gravidade e o empuxo de Arquimedes. Se houver uma mola, a força F incluirá a força desta (N);

ρ é a massa específica do fluido (Kg/m³);

μ é a viscosidade absoluta do fluido medido (Pa.s).

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo buscou compreender e analisar as patologias nos sinais gerados pelos medidores de vazão, coletados pelos eletrocorretores ou computadores de vazão.

Inicialmente foram realizados experimentos substituindo os cabos que interligam os equipamentos, variando o tipo de cabo, comprimento e utilização de filtros passa baixa.

Essa proposição inicial não apresentou nenhuma variação no erro, mantendo sempre a faixa de variação nas leituras. O que apresentou não ser o cabo a causa da perda de pulsos magnéticos e erros de medição.

Partimos para outra linha de pesquisa, estudando as perturbações na geração do sinal, tendo agora que fazer experimentos não destrutivos para avaliações dos impactos de cada perturbação ao sistema.

Os experimentos foram baseados tendo um medidor padrão (Z) sempre comparado em série com diversos medidores. A tabela de medidores apresenta a seguinte disposição:

Tabela 3 - Esquemático do Experimento

MEDIDORES	PRINCÍPIO DE MEDIÇÃO	POSIÇÃO DO SENSOR	EXPERIMENTOS
X	Rotativo	Interno	A, B e C
Y	Rotativo	Externo	A, B e C
W	Turbina	Externo	A, B e C

Fonte:Elaborado pelo autor

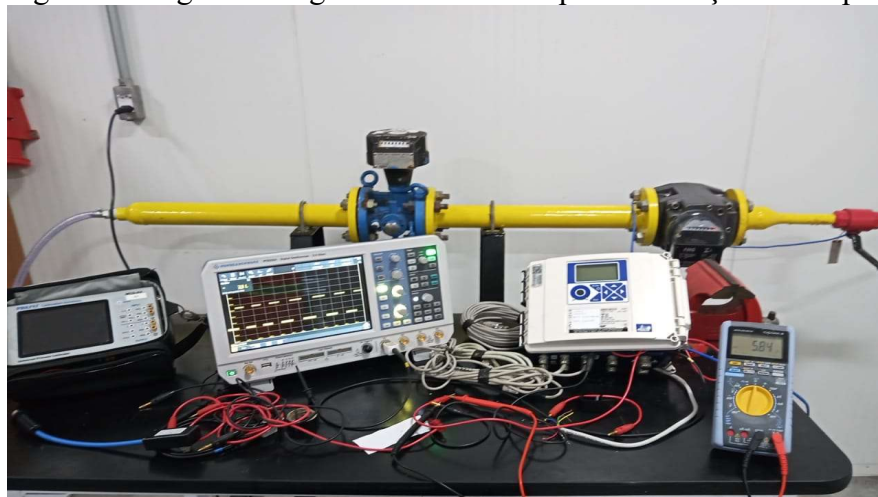
Tabela 4 - Matriz de experimentos

EXPERIMENTO	VAZÃO	SEM PERTURBAÇÃO	INFLUÊNCIA ELETROMAGNÉTICA	INFLUÊNCIA VIBRAÇÃO	INFLUÊNCIA TEMPERATURA (65° C)
A	Prox. da mínima	X	X	X	X
B	Prox. da média	X	X	X	X
C	Prox. da máxima	X	X	X	X

Fonte:Elaborado pelo autor

Para atingir o objetivo inicialmente proposto, foi realizada a montagem de bancada experimental com medidores de vazão dispostos em série, a fim de possibilitar o estudo dos sinais envolvidos na transmissão (figura 5). A bancada foi projetada para simular condições reais de operação, permitindo a coleta de dados de maneira controlada e precisa.

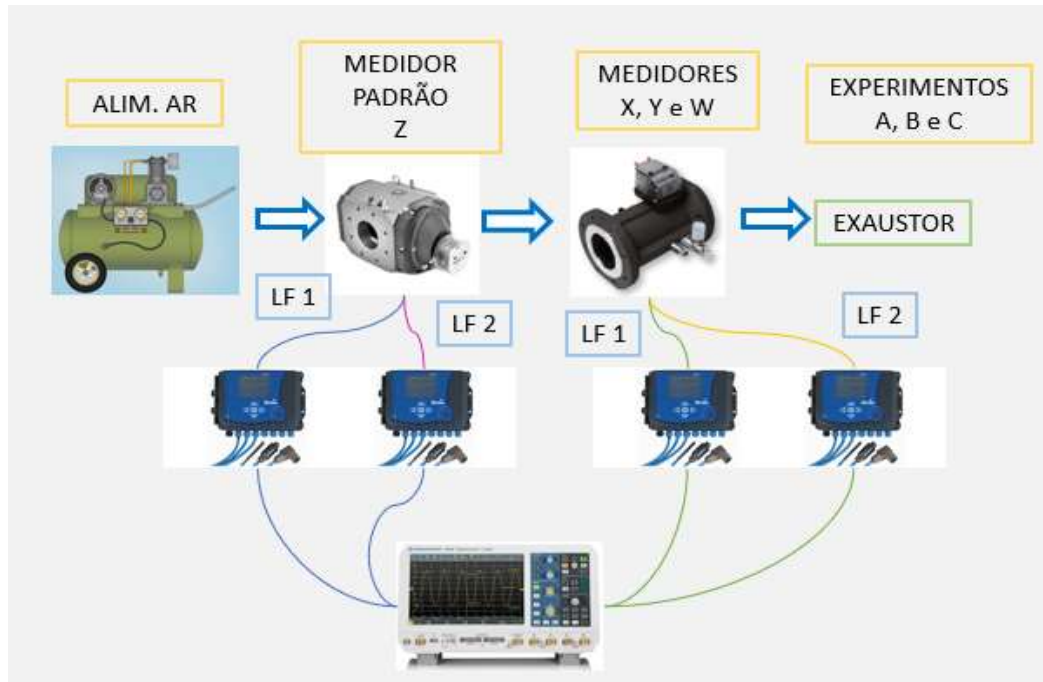
Figura 5 - Registro fotográfico da bancada para realização dos experimentos



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 6, a seguir, apresenta o Esquemático de ligação dos instrumentos.

Figura 6 - Esquemático de ligação dos instrumentos



Fonte: Elaborado pelo autor

Em relação à seleção e preparação dos medidores de vazão, foram selecionados medidores nos experimentos que apresentassem redundâncias nos sinais de pulso, contendo duas saídas digitais (LF1 e LF2), de modo que sempre houvessem duas informações de vazão no mesmo intervalo de tempo. Essas ondas são desemparelhadas no tempo, porém a informação global é sempre equivalente.

A problemática metrológica dos sistemas, cálculos e conversões utilizados na medição volumétrica de gás natural envolve inúmeras variáveis e princípios físicos que impactam diretamente o processo de cálculo volumétrico.

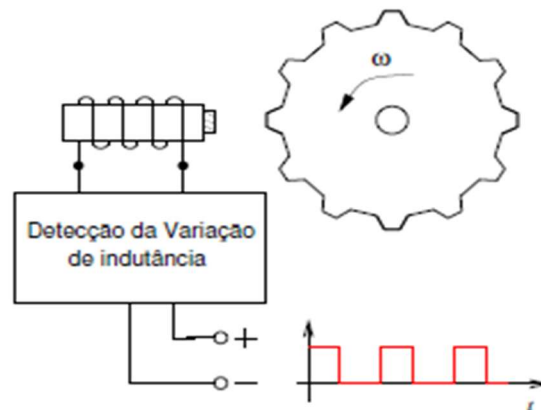
A cada rotação desse rotor é gerado um pulso no sinal de tensão resultante, formando assim um trem de pulsos. A partir da contagem desses pulsos no tempo, é possível obter a frequência desse sinal e realizar a computação de vazão e conversão de volume em energia (poder calorífico).

Dois sistemas principais de medição de rotação foram usados: o sistema magnético e o de rádio frequência. No sistema magnético, um sensor de proximidade é sensível à passagem das pás da turbina. O sensor é composto de um ímã permanente e de uma bobina. O fluxo magnético varia cada vez que uma pá da turbina modifica a distribuição das linhas magnéticas, pela sua passagem no campo do ímã. A bobina gera, dessa forma, uma sequência de pulsos cuja frequência é diretamente proporcional à rotação da turbina e, conseqüentemente, à vazão volumétrica.

O sistema de radiofrequência é uma sofisticação em relação ao mecânico, objetivando eliminar o torque reativo do rotor, provocado pela medição de sua rotação, aumentando assim a sensibilidade do instrumento. Uma bobina alimentada por uma corrente alternada em radiofrequência é o sensor da passagem das pás da turbina. Ao passarem pelo campo magnético criado pela bobina, as pás modulam o sinal portador. A frequência de modulação é diretamente proporcional à velocidade angular do rotor e, conseqüentemente, à vazão volumétrica.

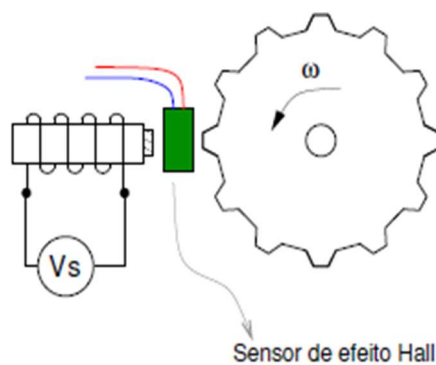
Ambos os tipos de sensores eletrônicos são intrinsecamente compatíveis com a leitura digital do volume totalizado. Quando são usados instrumentos digitais, a precisão alcançada pode ser de 0,5% do valor instantâneo da vazão, com rangeabilidade de 75:1.

Figura 7 - Esquema de geração de pulso e formato da onda



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 8 - Esquema de geração de sinal de vazão



Fonte: Elaborado pelo autor

Essas foram as condições e esquemático padrão das estações de transferência de custódia e evidenciado o ponto de maior relevância e fragilidade do sistema de medição, sendo este o medidor de vazão.

Em relação aos tratamentos de sinais, esses foram transmitidos via cabo blindado, sendo o cabo considerado um filtro passa baixa. Os dados foram coletados dos registros de sinais de vazão com auxílio de equipamentos eletrônicos, tratamento dos sinais e formatação das ondas de pulso. Isso foi feito com o objetivo de aprimorar a detecção das ondas geradas, simular uma nova configuração de onda, ajustar a configuração existente para a nova geração de sinais, e, por fim, adaptar as condições existentes para uma emissão de sinais com a finalidade de diminuir as incertezas na medição de volume.

Dada a situação apresentada, que aborda a estrutura das instalações e o funcionamento do equipamento que investigado na dissertação, fica claro que a condução de análises detalhadas sobre a geração de ondas e sinais de vazão pode conduzir a melhorias nos resultados ao diminuir erros e incertezas nas medições. Isso, por sua vez, tem o potencial de reduzir perdas financeiras para as empresas de transporte e distribuição de gás natural por meio de dutos.

Foram criados registros históricos por meio do uso de registradores de tensão e corrente para coletar dados de vazão e condições de operação. Com base nesses dados, foram desenvolvidos modelos matemáticos para descrever os pulsos e ondas geradas. Isso foi realizado utilizando simuladores matemáticos e geradores de ondas eletromagnéticas. O intuito foi criar simulações que reproduzissem os sinais equivalentes aos gerados pelo medidor de vazão, mas com formatos diferentes ou com menos pontos cegos, comuns em ondas quadradas.

Durante as simulações, foi considerada a possível necessidade de aplicar filtros nos sinais gerados. Além disso, foi feita uma avaliação dos custos de investimento em relação aos benefícios obtidos. Antecipa-se um retorno positivo quanto à redução das perdas financeiras e operacionais nas estações de gás natural, acompanhado pela expansão de pesquisas acadêmicas centradas no processamento de dados e sinais relacionados à medição volumétrica. Isso é motivado pela considerável diversidade de dispositivos empregados nesse contexto metrológico, fundamentado em conceitos sólidos de medição.

Foram conduzidos experimentos em quatro cenários diferentes, nos quais foram introduzidas alterações nas condições de pressão e vazão:

- i. Sem perturbação
- ii. Com influências no campo eletromagnético dos sensores
- iii. Com influência da vibração mecânica sobre o medidor de vazão
- iv. Com influência da temperatura sobre o medidor de vazão

No experimento ii foi utilizado um ímã de neodímio, tendo energia produto máxima (MGOe) entre 32 e 52.

A intensidade do campo magnético é expressa em Gauss ou Tesla ($1 \text{ Tesla} = 10.000 \text{ Gauss}$). Ela depende do tamanho, forma e grau do ímã, em que a medição é realizada, e a presença de quaisquer outras ímãs ou materiais ferromagnéticos próximos.

Figura 9 - ímã de neodímio



Fonte: Elaborado pelo autor

No experimento iii, foi utilizado um motor de corrente contínua com uma massa descentralizada em seu eixo. No experimento iv, foram realizados estudos com influência da temperatura sobre o medidor de vazão, aplicando diferentes temperaturas ao medidor de vazão.

Figura 10 - motor cc utilizado nas simulações de vibração



Fonte: Elaborado pelo autor

Na seção a seguir, são apresentados os resultados e discussões da presente dissertação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os tópicos a seguir apresentam os resultados dos experimentos realizados, descrevendo todas as métricas e montagens utilizadas na consolidação dos dados.

4.1 Resultados

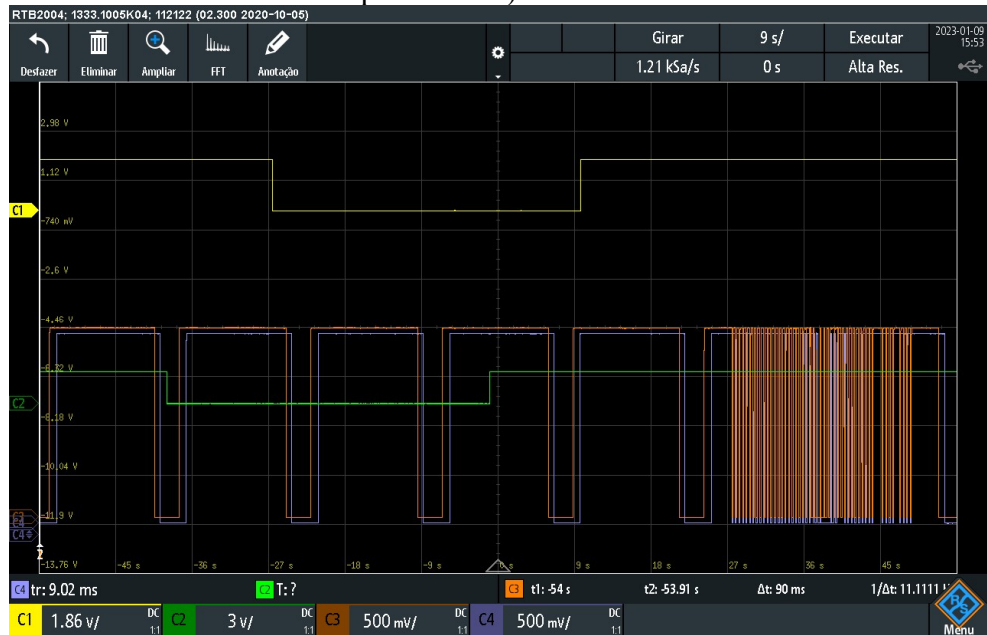
Os dados coletados de cada medidor foram enviados, em tempo real, a eletrocorretores e osciloscópio, de modo a capturar o comportamento das ondas emitidas por cada saída digital do equipamento de medição. As ondas capturadas no osciloscópio foram comparadas com os sinais coletados nos eletrocorretores e por fim analisadas com as informações do index de cada medidor.

Figura 11 - Registro de pulsos do medidor padrão (Z), sem perturbação



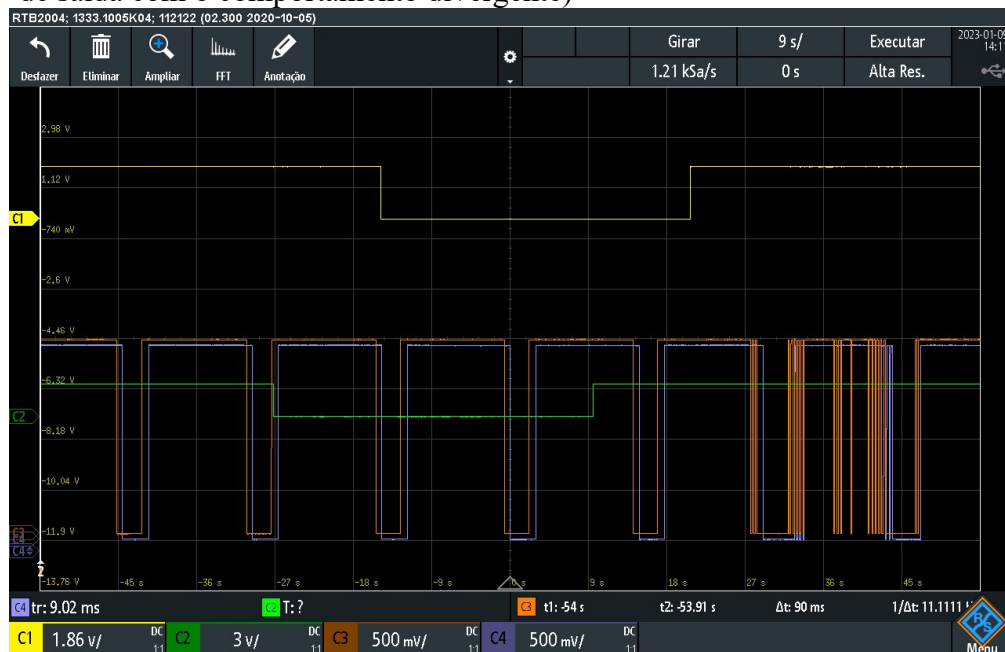
Fonte:Elaborado pelo autor

Figura 12 - Registro de pulsos do medidor com perturbação eletromagnética (canais de saída com o mesmo comportamento)



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 13 - Registro de pulsos do medidor com perturbação eletromagnética (canais de saída com o comportamento divergente)



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 14 - Registro de pulsos do medidor com perturbação por vibração



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 15 - Registro de pulsos do medidor com perturbação por vibração



Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados de cada cenário estudado apresentam as relações entre as patologias encontradas versus o princípio de cada medidor, as variações de vazão e pressão são equivalentes as condições de aplicação no processo de distribuição.

Tabela 5 - Quadro resumo dos ensaios de bancada

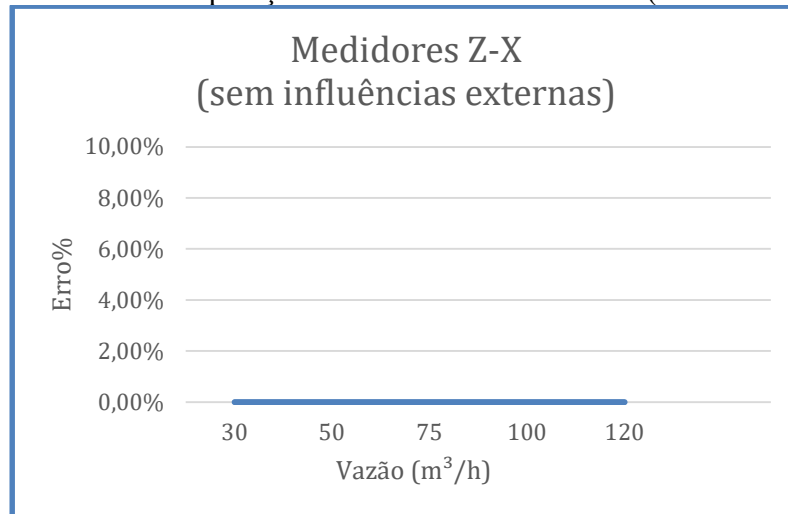
Z-X	Q= A e P=0,0	Q= B e P=0,0	Q= C e P=0,0	MÉDIA	DESVIO	COEF. VARIÂNCIA	
MEDIDOR PADRÃO (Z) - MEDIDOR PESQUISA (X)	Z	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-
				0,00%	0,00%	-	Sem
	X	0,00%	0,00%	0,00%			influência de
	Z	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	vibração,
	X	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	indução e
	Z	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	temperatura
	X	23,88%	20,71%	17,33%	20,64%	3,28%	6,30
	Z	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-
	X	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-
ERRO%							
Z-Y	Q= A e P=0,0	Q= B e P=0,0	Q= C e P=0,0	MÉDIA	DESVIO	COEF. VARIÂNCIA	
MEDIDOR PADRÃO (Z) - MEDIDOR PESQUISA (Y)	Z	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-
				0,00%	0,00%	-	Sem
	Y	0,00%	0,00%	0,00%			influência de
	Z	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	vibração,
	Y	21,21%	24,38%	20,78%	22,12%	1,97%	11,25
	Z	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-
	Y	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-
	Z	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-
	Y	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-
ERRO%							
Z-W	Q= A e P=0,0	Q= B e P=0,0	Q= C e P=0,0	MÉDIA	DESVIO	COEF. VARIÂNCIA	
MEDIDOR PADRÃO (Z) - MEDIDOR PESQUISA (W)	Z	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-
				0,00%	0,00%	-	Sem
	W	0,00%	0,00%	0,00%			influência de
	Z	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-
	W	33,67%	32,19%	33,67%	33,18%	0,85%	38,83
	Z	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-
	W	8,70%	1,52%	0,00%	3,41%	4,65%	0,73
	Z	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-
	W	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-
ERRO%							

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na verificação gráfica mais específica, é possível verificar o melhor impacto das patologias sobre os sinais gerados.

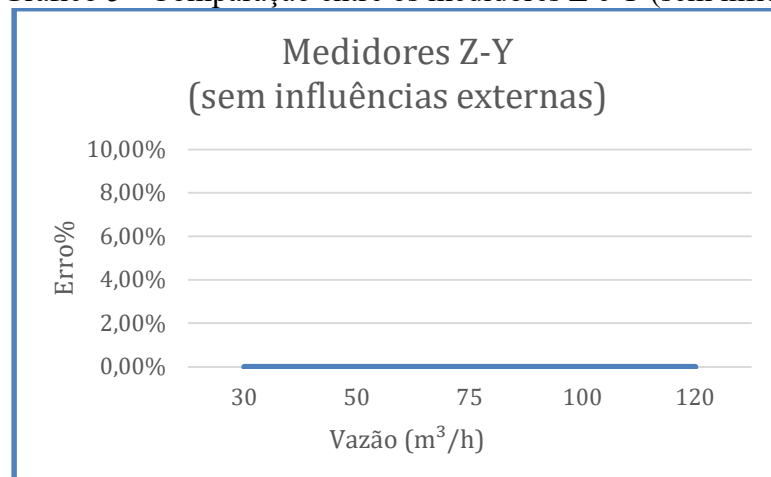
Verificações em separado para cálculo do erro com a variação da vazão:

Gráfico 4 - Comparação entre os medidores Z e X (sem influências externas)



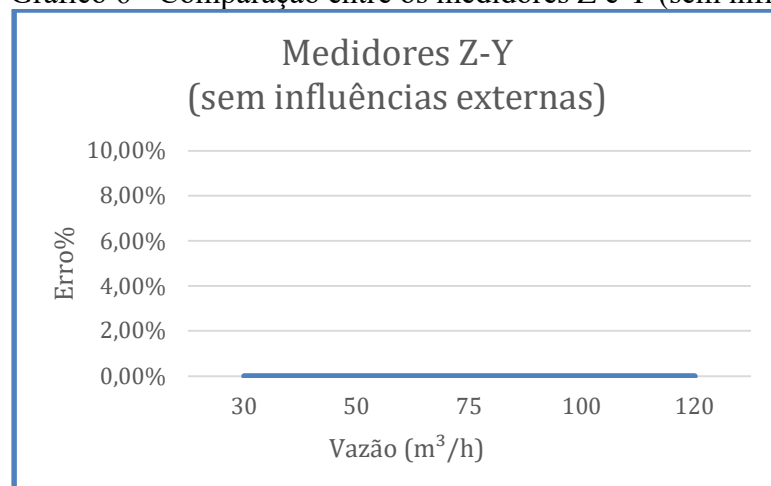
Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 5 - Comparação entre os medidores Z e Y (sem influências externas)



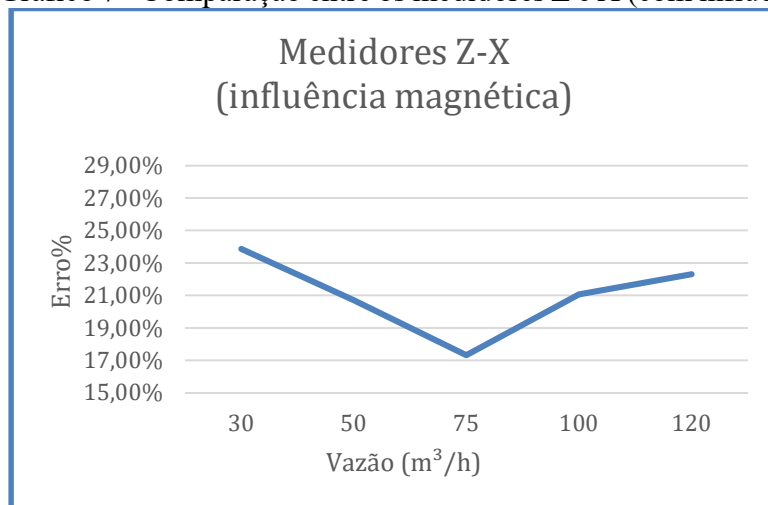
Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 6 - Comparação entre os medidores Z e Y (sem influências externas)



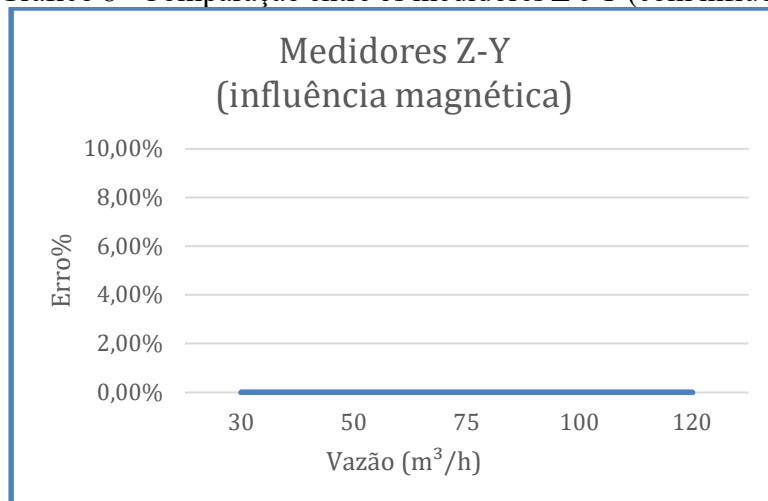
Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 7 - Comparação entre os medidores Z e X (com influências magnéticas)



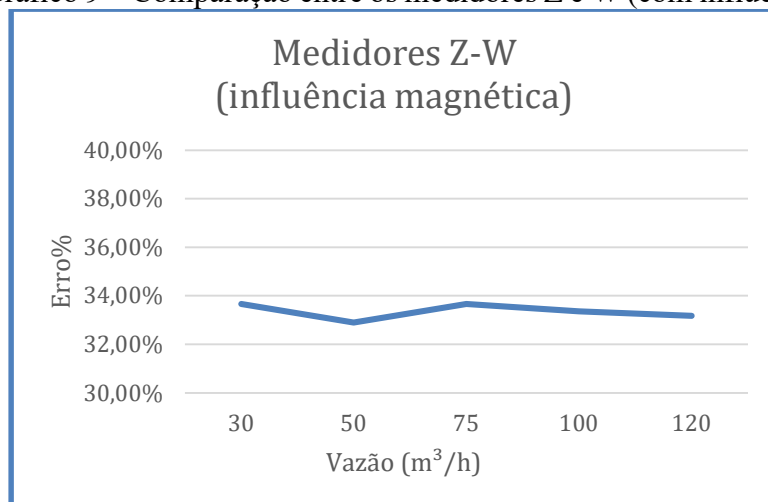
Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 8 - Comparação entre os medidores Z e Y (com influências magnéticas)



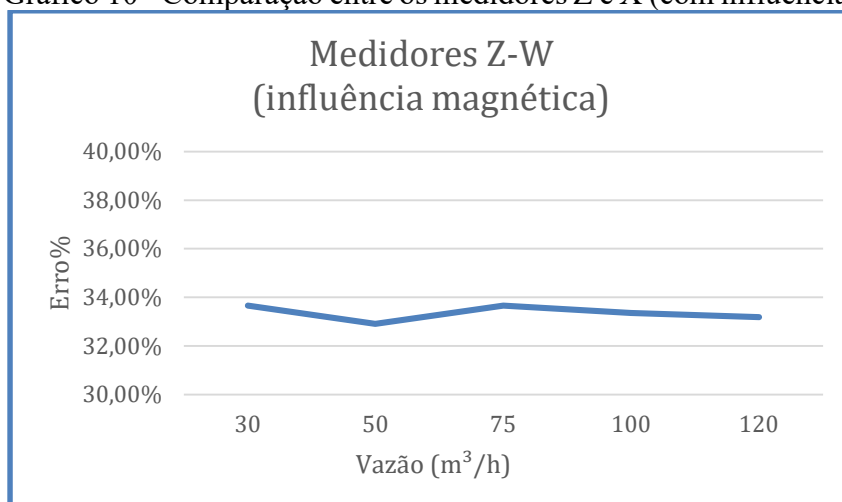
Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 9 - Comparação entre os medidores Z e W (com influências magnéticas)



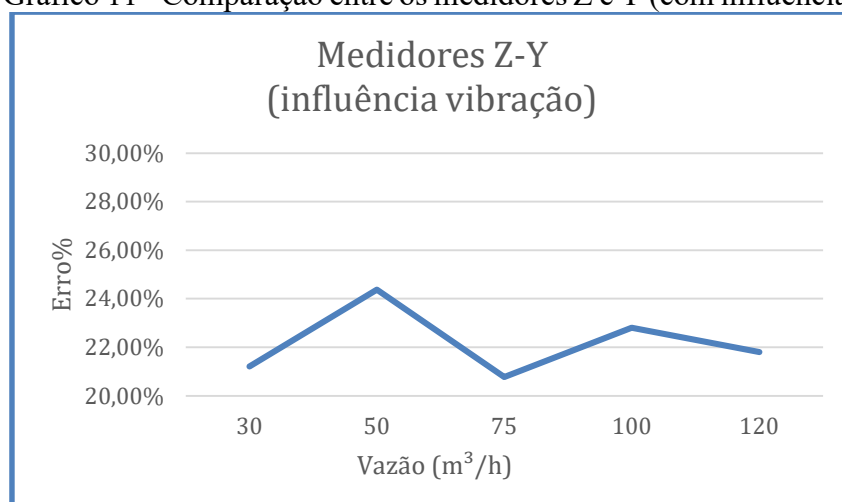
Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 10 - Comparação entre os medidores Z e X (com influências por vibração)



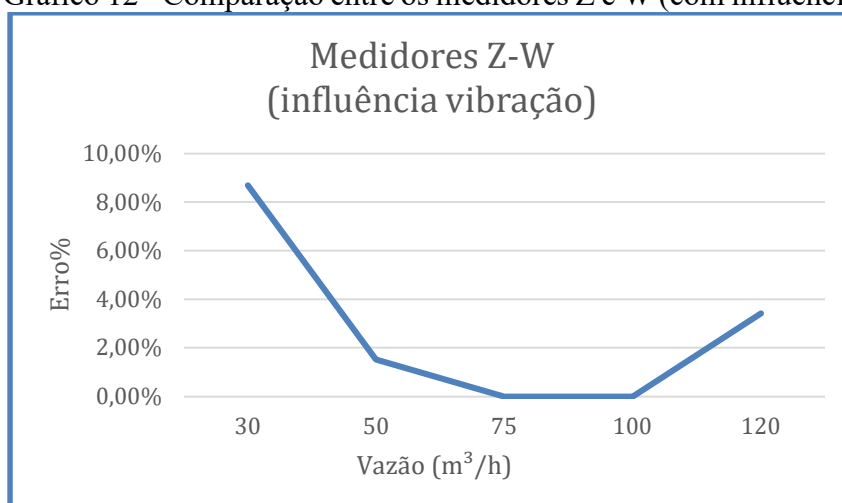
Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 11 - Comparação entre os medidores Z e Y (com influências por vibração)



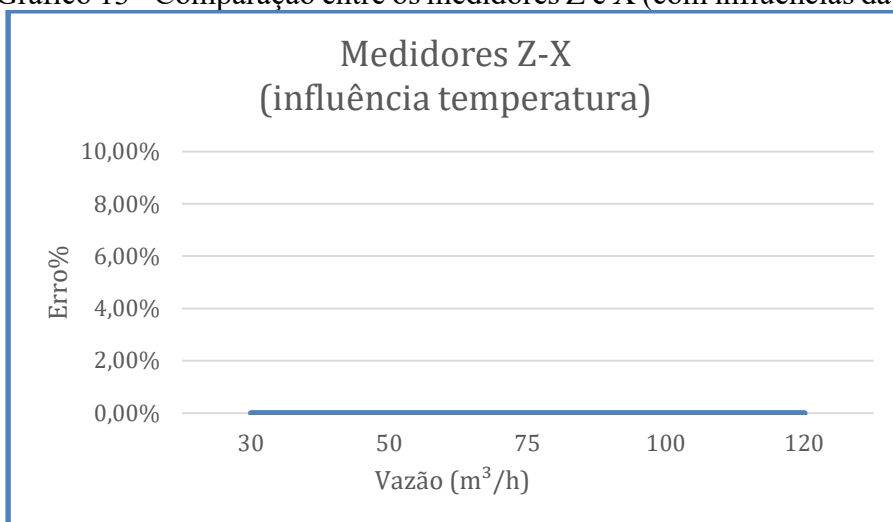
Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 12 - Comparação entre os medidores Z e W (com influências por vibração)



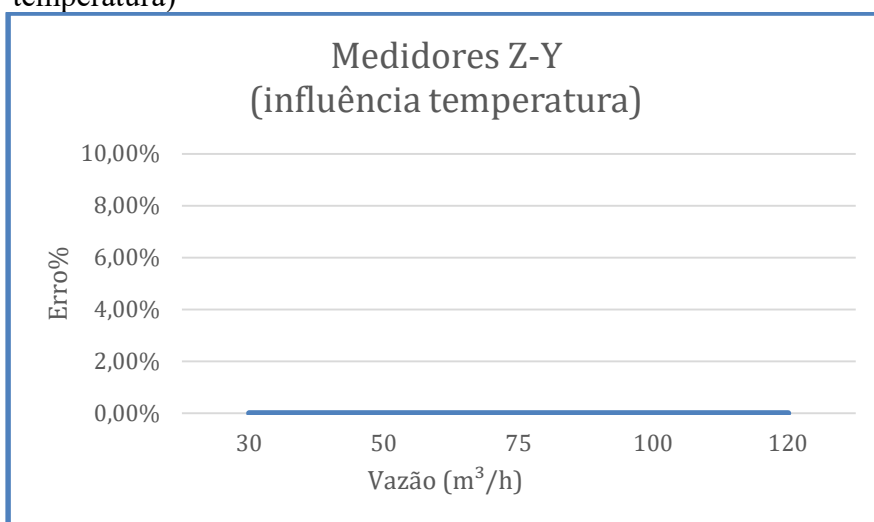
Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 13 - Comparação entre os medidores Z e X (com influências da temperatura)



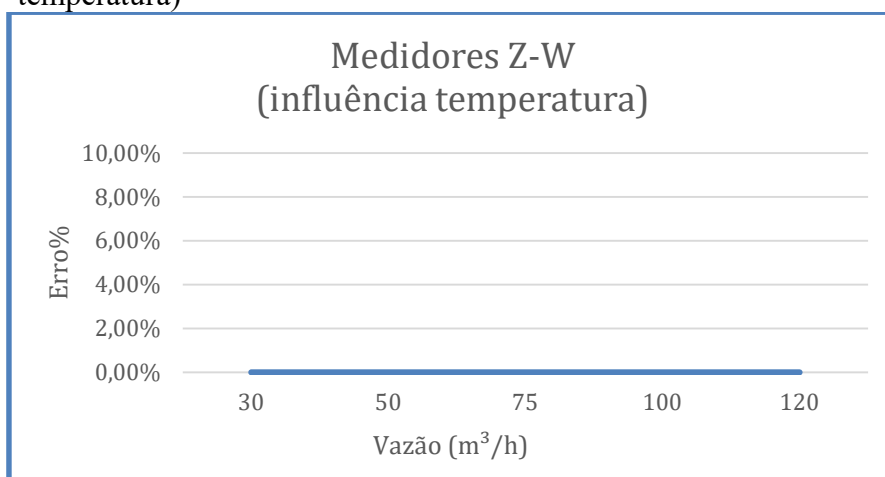
Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 14 - Comparação entre os medidores Z e Y (com influências da temperatura)



Fonte: Elaborado pelo autor

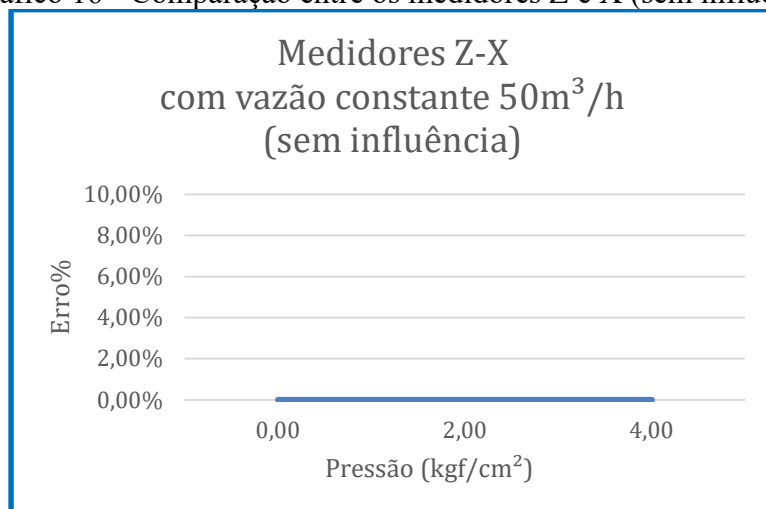
Gráfico 15 - Comparação entre os medidores Z e W (com influências da temperatura)



Fonte: Elaborado pelo autor

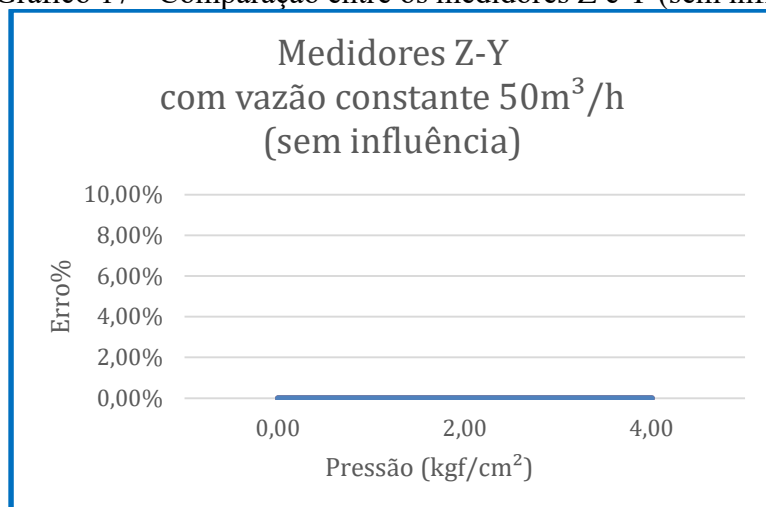
Realizados os registros dos dados usando a vazão como variável mestre do processo, realizamos novos experimentos fixando a vazão e variando a pressão, de modo que fosse possível avaliar o impacto da variável no processo de geração e emissão dos sinais de vazão.

Gráfico 16 - Comparação entre os medidores Z e X (sem influências)



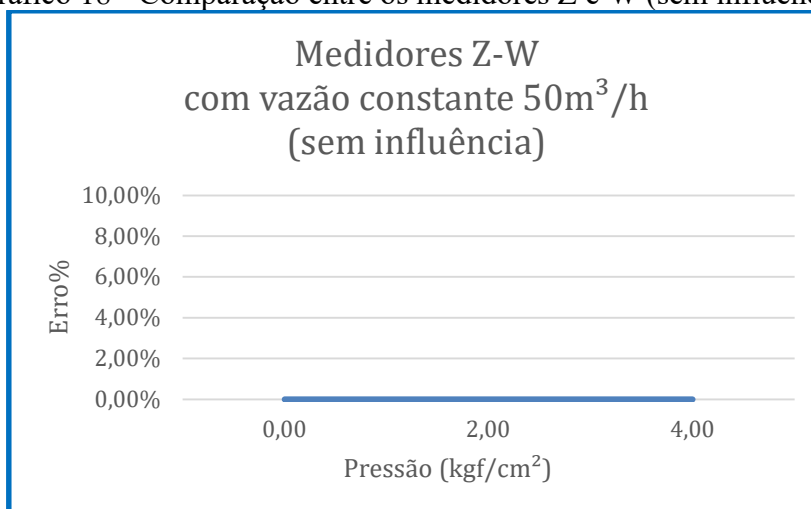
Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 17 - Comparação entre os medidores Z e Y (sem influências)



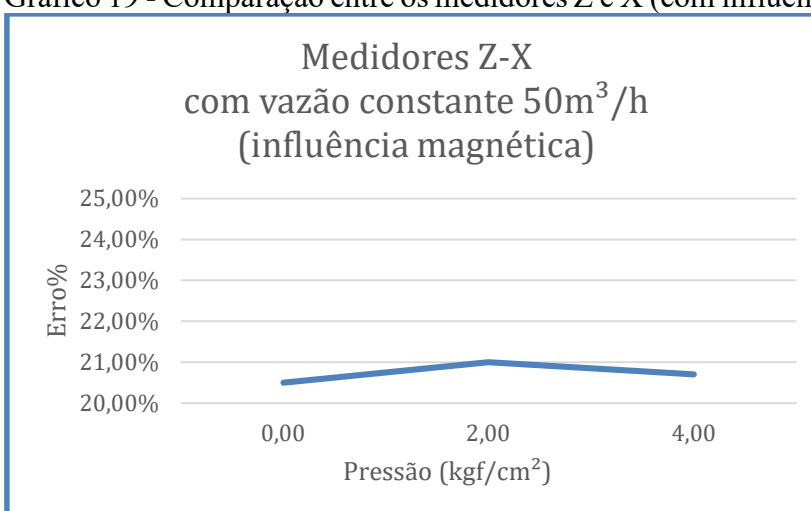
Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 18 - Comparação entre os medidores Z e W (sem influências)



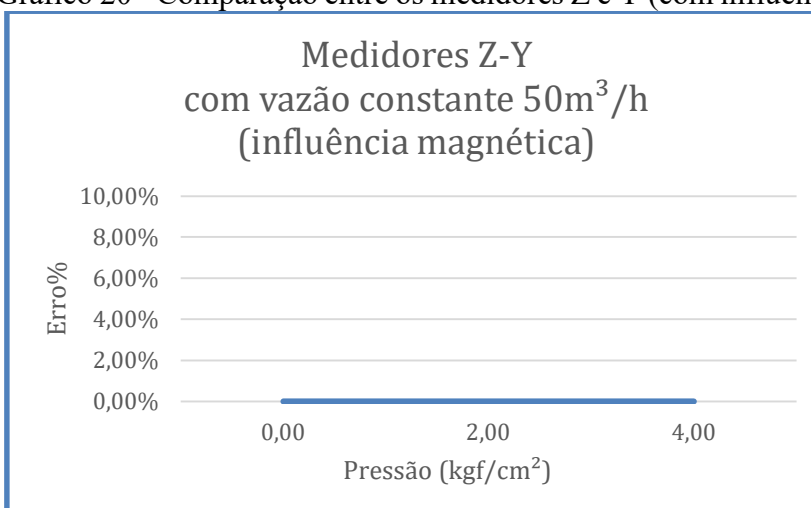
Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 19 - Comparação entre os medidores Z e X (com influências magnéticas)



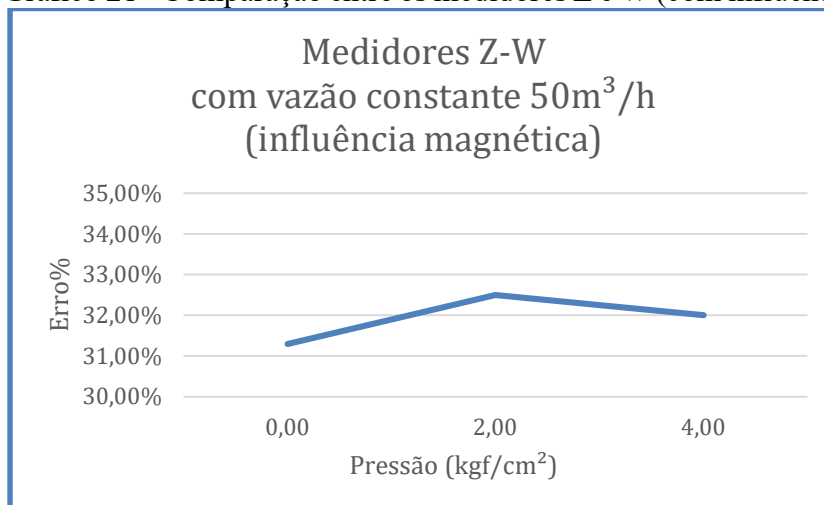
Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 20 - Comparação entre os medidores Z e Y (com influências magnéticas)



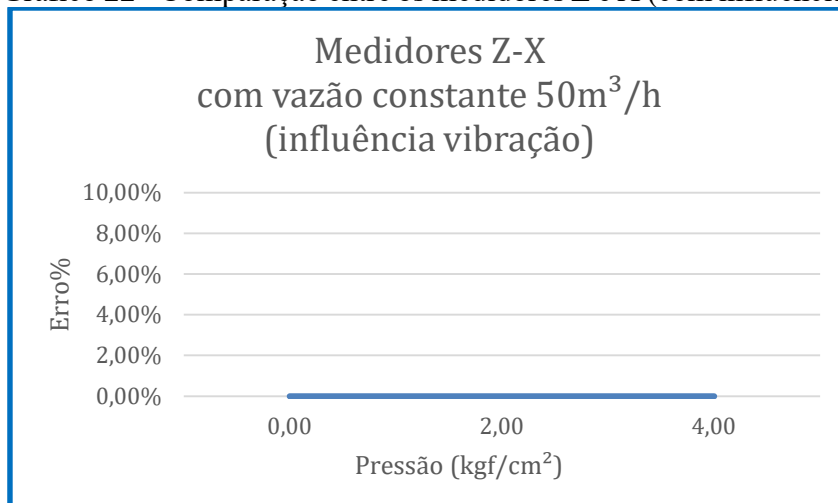
Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 21 - Comparação entre os medidores Z e W (com influências magnéticas)



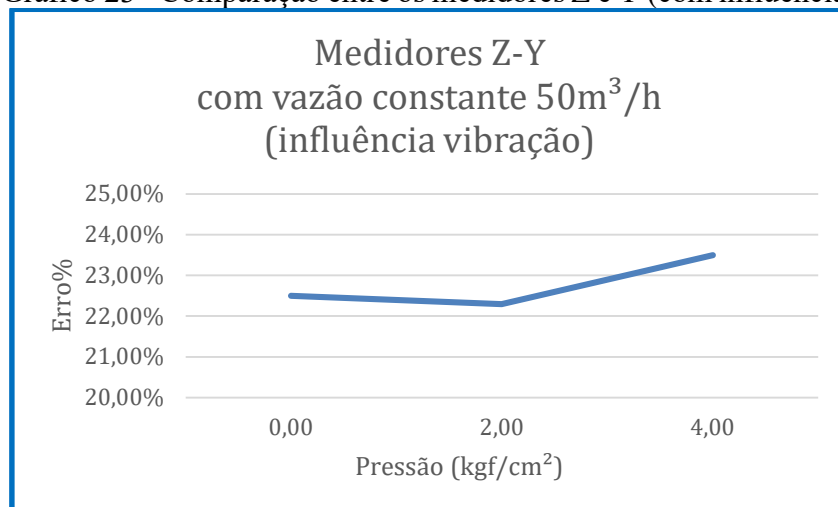
Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 22 - Comparação entre os medidores Z e X (com influências por vibração)



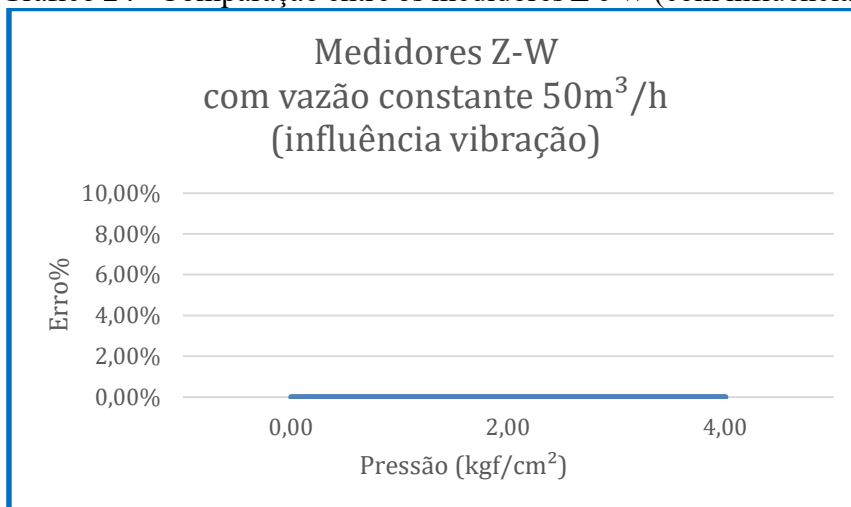
Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 23 - Comparação entre os medidores Z e Y (com influências por vibração)



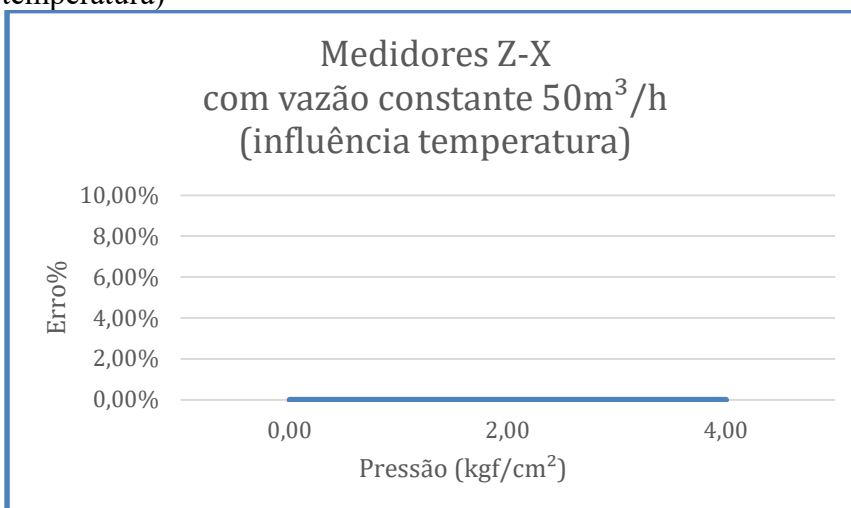
Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 24 - Comparação entre os medidores Z e W (com influências por vibração)



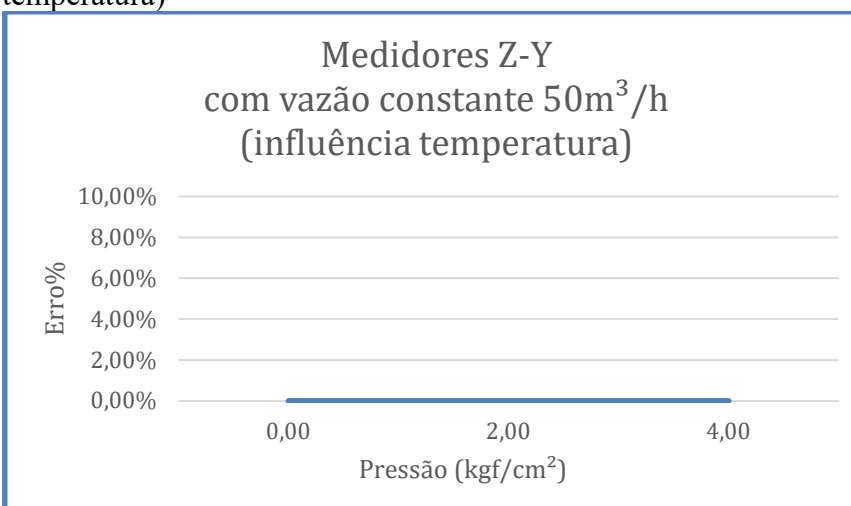
Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 25 - Comparação entre os medidores Z e X (com influências da temperatura)



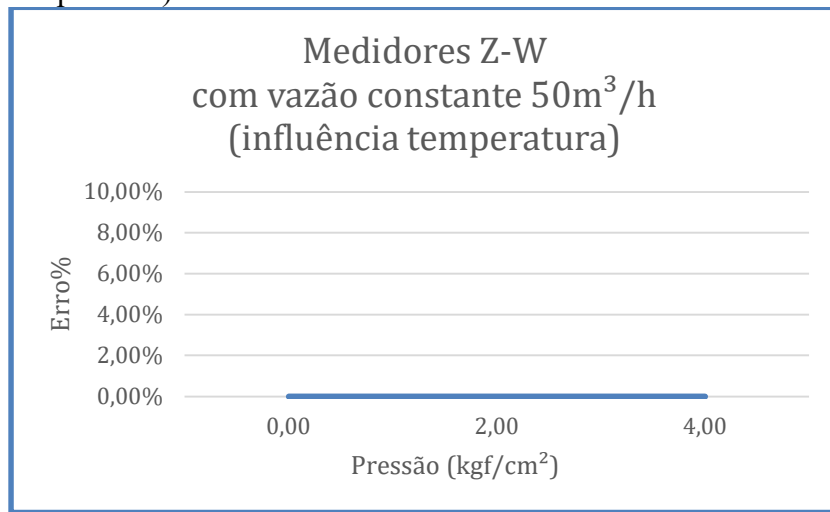
Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 26 - Comparação entre os medidores Z e Y (com influências da temperatura)



Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 27 - Comparação entre os medidores Z e W (com influências da temperatura)



Fonte: Elaborado pelo autor

Diante dos resultados estatísticos e construção gráfica, podemos verificar o comportamento dos sinais, a repetição dos erros nos elementos com o mesmo princípio de funcionamento e a repetibilidade nas faixas de vazão. A influência dos eventos externos nos medidores e o impacto dessa patologia no resultado metrológico.

O monitoramento do comportamento ondulatório também é um grande avanço na análise qualitativa das ferramentas metrológicas aplicadas na medição de gás natural. Os registros ondulatórios confirmam os dados estatísticos e apresentam resoluções das problemáticas de calibração, manutenção e substituição dos equipamentos de medição.

Nos experimentos sem influências externas, não são registrados erros, independentemente da posição do sensor, variação de vazão ou pressão.

Nos experimentos envolvendo influências no campo eletromagnético, os dispositivos com sensores externos exibem um comportamento consistente nas faixas percentuais de erros ao longo de variações de vazão e pressão.

Os experimentos com perturbações de vibração demonstram influências somente nos medidores com sensores internos, enquanto a variação da temperatura não afeta a geração, emissão e recepção do sinal de vazão.

4.2 Discussões

Com os registros coletados, podemos concluir que as patologias no sistema de medição de transferência de custódia, são balizadas pelas influências de indução e vibrações mecânicas

e afetando entre 20 e 30% a geração dos sinais de vazão emitidos pelos medidores, dessa forma os eletrocorretores e computadores de vazão tem uma percepção volumétrica diferente do valor real medido.

Essa variação percentual, impacta as projeções diárias de consumo do energético, dessa forma, as programações são realizadas com erro e acabam gerando penalidades de retirada a maior ou “take or pay” por retiradas a menor. Esses erros causam impacto negativo nos custos das companhias, pois os limites de faixa são apertados. A melhora no sistema de medição das companhias de gás natural canalizado reflete resultados positivos em dois vetores, no faturamento de volume dos usuários e na programação de retirada diária junto a supridores e transportadoras de gás natural.

Os resultados financeiros mostram claramente o ganho da companhia, conforme tabela 6 a seguir:

Tabela 6 – Resultados Financeiros

	Realizado JAN/2023 (pago)		Cenário de não redução da QDC	Economia projetada
Take or Pay	R\$	233.130,86	R\$ 12.521.630,06	R\$ 12.288.499,20
Encargo de capacidade	R\$	63.130,81	R\$ 1.964.469,31	R\$ 1.901.338,50
Economia real acumulada	R\$	296.261,67	Volume de janeiro/2023 = 15,2 milhões de m ³ Volume de fevereiro/2023 = 13,3 milhões de m ³ Volume de março/2023 = 15,5 milhões de m ³	
Projeção em 12 meses	R\$	3.555.140,04		

Fonte: Elaborado pelo autor

Como mostrado na tabela acima, o experimento foi fundamental na reformulação da metodologia de registro dos dados de volume e projeção das retiradas de energético junto aos fornecedores, reduzindo drasticamente as penalidades de retirada e encargos de capacidade.

5 CONCLUSÃO

O objetivo desta dissertação foi o de realizar a verificação e tratamento na geração, transmissão e captação dos sinais de pulso dos medidores de vazão nas estações de transferência de custódia da Companhia de Gás do Ceará (CEGÁS), visando mitigar as percas de dados, falta de sincronismo e/ou comunicação com os equipamentos de cálculo e correção de volume em energia. A pesquisa também propôs uma nova configuração de instalação ou geração de onda para comunicação e transmissão dos dados, objetivando eliminar possíveis falhas na projeção dos volumes a serem retirados diariamente, uma vez que a nominação diária é elaborada com base

nos volumes projetados, sendo a projeção de retirada balizada pelos registros volumétricos do dia corrente até as 12:00 horas.

Diante dos dados apresentados e discussões pontuadas, podemos garantir que a execução dos experimentos e reformulação na aquisição dos dados de vazão, foi decisiva para a resolução da problemática, redução das substituições dos medidores e ampliação do resultado financeiro da companhia.

Os experimentos e análises realizados revelaram que patologias no sistema de medição, causadas por influências de indução e vibrações mecânicas, afetam em torno de 20 a 30% a geração dos sinais de vazão, impactando negativamente as projeções diárias de consumo e, consequentemente, os custos operacionais das companhias de gás natural canalizado. A abordagem adotada resultou em melhorias significativas, reduzindo a necessidade de substituições frequentes de medidores e gerando impactos positivos tanto no faturamento de volume dos usuários quanto na programação precisa de retirada diária junto a fornecedores e transportadoras de gás natural. Este estudo contribuiu para a melhoria tecnológica dos componentes do sistema de medição e pretende incentivar o desenvolvimento de novas linhas de pesquisa e avanços na área de gás, energia e instrumentação, evidenciando o papel crucial da inovação na otimização de processos industriais essenciais para a sociedade.

Estudos futuros poderiam se concentrar na análise da viabilidade técnica e financeira da substituição gradual de medidores com princípio de medição de rotativos e turbina por medidores ultrassônicos ou com encoders. Essa pesquisa poderia avaliar em detalhes o desempenho metrológico, a vida útil, o custo de aquisição e manutenção desses diferentes princípios de medição, considerando o contexto das companhias distribuidoras de gás natural canalizado.

Trabalhos adicionais podem explorar aspectos como blindagens eletromagnéticas e padrões de instalação para reduzir a influência de vibrações ou abalos mecânicos nos dispositivos de medição. Estudos adicionais poderiam aprofundar a discussão sobre a continuidade da utilização desses dispositivos, que já são amplamente adotados pelas empresas de distribuição de gás natural canalizado, e também poderiam analisar as interações técnicas e financeiras relacionadas à aplicação desses princípios metrológicos.

REFERÊNCIAS

ACCIOLY, C. C. **Confiabilidade metrológica da supervisão de vazão em sistema de resfriamento a água em usinas hidrelétricas**. 2007. 68 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Metrologia, Centro Técnico Científico, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

ALTERA. **CLPDs vs FPGAs: comparing highcapacity programmable logic**. Product Information Bulletin 18. 1995.

ANDERSON, N. A. **Istrumentation for process measurement control**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press LLC, 1998.

APPLICATION PROGRAMMING INTERFACE – API. **Manual of Petroleum Measurement Standards**. [S.l]: Physical Properties Data, 2004.

ARANTES, W. F. de. **Avaliação metrológica da comparação interlaboratorial da calibração de medidores ultra-sônicos**. 2007. 144 p. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Metrologia, Centro Técnico Científico. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10396: Medidores de AWWA, Flowmeters in Water Supply**. Denver: American Water Works Association, 1989.

BALBINOT, A.; BRUSAMARELLO V. J. **Instrumentação e fundamentos de medidas**. v.2. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

BANNOCK, G; BAXTER, R. E; DAVIS, E. **The Penguin dictionary of economics**. 7.ed. [S.l]: Penguin Books Ltda, 2003.

BANZI, M.; SHILOH, M. **Make - Getting Started with Arduino: the open source electronics prototyping platform**. 2. ed. [S.l]: O'Reilly Media, 2015.

BATES, C.J.; TURNER, R.B. Fluid flow studies associated with a new eletromagnetic flowmeter. **Measurement**, v.33, p.85-94, 2003.

BEGA, E. A.; DELMÉE, G.J.; COHN, P.E.; BULGARELLI, R.; KOCH, R.; FINKEL, BEGA, E. A. **Instrumentação Industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência: IBP, 2006.

BEGA, Egídio A.; DELMÉE, Gerard J.; COHN, Pedro E.; BULGARELLI, Roberval; KOCH, Ricardo; DELMÉE, Gerard J. **Manual de medição de vazão**. 2.ed. [S.l]: Edgard Blucher, 1983.

BEQUETTE, W., OGUNNAIKE, B.A. Chemical process control education and practice. **IEEE Control System Magazine**, v.8, n.3, p.10-17, 2001.

BIPM/IEC/IFCC/ISSO/IUPAC/IUPAP/OIML. **Guide to the expressionf uncertainty in measurement, international organization for standardization**. Geneva, 1993.

BONDI, A.A. **Characteristics of scalability and their impact on performance:** proceedings of the 2nd international workshop on software and performance. Nova York:[s.n], 2000.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Resolução Conjunta ANP/INMETRO nº 001, de 10 de junho de 2013. Dispõe sobre o regulamento técnico de medição de petróleo e gás natural. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 10 jun.2013.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Portaria Conjunta nº 01, de 19 de junho de 2000. “Regulamento Técnico da Medição de Petróleo e Gás Natural”. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 19 jun.2000.

BRASIL. Instrução Normativa Nº 13, de 13 de novembro de 2004. aprova o regulamento técnico sobre aditivos destinados a alimentação animal. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 13 nov. 2004.

BRASIL. Ministério da Indústria e Comércio. **Portaria nº 27, de 19 de abril de 1959**. Brasília: MIC, 1959.

CAGNI JUNIOR, Eloi. **Software inteligente embarcado aplicado a correção de erro na medição de vazão em gás natural**. [S.l:s.n], 2007.

CAMPAGNA,M.M; DINARDO, G; FABBIANO, L; VACCA, G. Fluid flow measurements by means of vibration monitoring. **Measurement Science and Technology**, v 26, n 11, 2015.

CARVALHO, A. S.; SILVA, R. C. da.; NASCIMENTO, D. B. do. Sistema de Comunicação OPC para uma Coluna de Destilação Piloto. *In*: SIMPÓSIO DE EXCELENCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA (SEGeT), Belo Horizonte. Proceedings . . . Belo Horizonte, 2001. p. 170-181.

CHEREMISINOFF, N.P. **Applied fluid flow Measurement:** fundamentals and thecnology. Nova Iorque: Marcel Dekker INC., 1979.

COSTA, I. M. **Projeto e implementação em ambiente foundation fieldbus de filtragem estocástica baseada em análise de componentes independentes**. 2006. 68 p. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

D’AUSILIO, A. Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment. **Behavior Research Methods**, v. 44, n. 2, p. 305–313, 25 out. 2011.

DA SILVEIRA, S. A. Inclusão digital, software livre e globalização contra- hegemônica. **Software Livre e Inclusao Digital**, v. 7, p. 11, 2003.

DELMÉE, G.J. **Manual de medição de vazão**. São Paulo: Edgard Blücher, 1982.

ERDOGAN, C.; MYDERRIZI, I.; MINAEI, S. **FPGAim plementation of Bask-Bfsk-BPSK digital modulators**. [S.l:s.n], 2012.

FATEHNIA, M. PARAN, S. KISH, S. TAWFIQ, K. Automating double ring infiltrometer with Arduino controller. **Geoderma**, v. 262, p 133-139, 2016.

FERDOUSH, S.; LI, X. Wireless Sensor network system design using raspberry pi and arduino for environmental monitoring applications. **Procedia Computer Science**, v. 34, p. 103–110, 2014.

FIALHO, A. B. **Instrumentação Industrial: conceitos, aplicações e análises**. 4. ed. São Paulo: Érica, 2006.

FILHO, J. P. D. **Metodologia para calibração de rotâmetro de água operando com o fluido R134A**. 2006. 113 p. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

FLOYD, S. **Sistemas Digitais: fundamentos e aplicações**. Porto Alegre: Bookman, 2007.

FOX, R.W., PRITCHARD, P.J., McDONALD, A.T. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 7. ed. [S.l.]: LTC, 2010.

GEANKOPOLIS, C. J. **Transport processes and separation processes principles**. 4. ed. Nova York. Prentice Hall, 2003.

GRUBELNIK, V.; MARHL, M. Drop Formation in a Falling Stream of Liquid. **American Journal of Physics**, v.73, n.5, p. 415-419, maio 2005.

GUIMARÃES, A. B. **Medidor de vazão proporcional para a quantificação do consumo de água na irrigação**. 2007. 79 p. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

GUIMARAES, D. A. **Digital transmission: a simulation aided introduction with VisSim/Comm**. [S.l.]: Springer, 2009.

HAYKIN, S.; VEEN, Barry Van. **Sinais e Sistemas**. Porto Alegre: Bookman, 2001.

HASANUSTA, K; SERTELLER, N. F. O; BIRBIR, Y. The optimal hall sensor's position for brushless direct current machine: Experimental study. **Revista Tecnica de ka Facultad de Ingenieria Universidad del Zulia**, v. 39, n.1, p.218-225, 2016.

HELFRIK, A. D.; COOPER, W. D. **Instrumentação eletrônica moderna e técnicas de medição**. [S.l.]: Prentice-Hall do Brasil, 1994.

HÜSEMANN, R. **Sistema de validação temporal para redes de barramentos de campo**. 2003. 144 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia**. 2.ed. Brasília: Imetro, 2000.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Orientações sobre validação de métodos de ensaios químicos: DOQ-CGCRE-008; revisão 01.** Brasília:Imetro, 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2715:** Liquid hydrocarbons: volumetric measurement by turbine meter systems. [S.l]: First edition, 1981.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **ISO-4185:** JAYAWANT, B.V.- Are we in control? [S.l]: IEE Proceedings, 1988.

JOGALEKAR, P. Evaluating the scalability of distributed system. Parallel and Distributed Systems. **IEEE Transactions On**, v.11, p. 589-603, 2000.

KAZAZ, K.; KULIN, M.; HADZIALIC, M. Design and implementation of SDR based QPSK modulator on FPGA. *In*: International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), 2013, Opatija (Croatia), Anais... 2013.

KOENKA, I. J.; SÁIZ, J.; HAUSER, P. C. Instrumentino: an open-source modular Python framework for controlling Arduino based experimental instruments. **Computer Physics Communications**, v. 185, n. 10, p. 2724–2729, out. 2014.

LATHI, B. P. **Signal processing and linear systems.** [S.l]: Oxford Press, 2000.

LIM, K.W., CHUNG, M. K. Relative errors in evaluating the electromagnetic flowmeter signal using the weight function method and the finite volume method. **Flow Measurement and Instrumentation**, v. 9, p. 229-235, 1998.

MARANGONI, C. **Implementação de uma estratégia de controle com ação distribuída em uma coluna de destilação.** 2005. 115 p. Tese (Doutorado em Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MARTIM, A. L. S. S. **Avaliação do desempenho de um medidor de vazão eletromagnético em situações práticas reais de instalação.** 2005. 199p. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Faculdade de engenharia civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

MARTINS, N. **Manual de Medição de Vazão:** através de placas de orifício, bocais e venturis. Rio de Janeiro: Interciência: Petrobras, 1998.

MICROBERTS, Michael. **Arduino Básico.** São Paulo: Editora Novatec, 2011.

MELO, F. B. **Avaliação metrológica da incerteza na medição de vazão mássica de gases com tecnologias volumétrica e pressão diferencial.** 2007. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MENDES, F. P. **Automação Residencial baseada em Software Supervisório**. 2007. 57 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação (CECAU), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

MONSON, H. Hayes. **Processamento Digital de Sinais**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

NETO, A. Z. **Análise do Impacto da Comunicação em redes Foundation Fieldbus no Desempenho de Sistemas de Controle**. 2007. 144 p. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

NETO, B. B; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos**. São Paulo: EdUnicamp, 1996.

NOGUEIRA, T. A. **Redes de Comunicação para Sistemas de Automação Industrial**. 2009. 83 p. Trabalho de Conclusão (Graduação em Engenharia de Controle e Automação), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

OGATA, K. **Engenharia de controle moderno**. 3. ed. Rio de Janeiro: Pearson Prentice-Hall, 2005.

OLIVEIRA, J. L. G. **Medição de vazão de escoamentos bifásicos utilizando tubo de venturi ou placa de orifício associados a um sensor de vazão de vazão com campo elétrico girante**. 2007. 129 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

ORDONEZ, Edward David Moreno; PENTEADO, César Giacomini; SILVA, Alexandre César Rodrigues da. **Microcontroladores e FPGAs: aplicações em automação**. São Paulo: Novatec, 2005.

PALADINO, E. E. **Estudo do escoamento multifásico em medidores de vazão do tipo pressão diferencial**. 2005. 263 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

PANTONI, R. P. **Desenvolvimento e implementação de uma descrição de dispositivos aberta e não-proprietária para equipamentos foundation fieldbus baseada em XML**. 2006. 164 p. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

PAULA, T. T. de. **Avaliação metrológica da medição de vazão com Laser Doppler Anemométrico**. 2007. 74 p. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

RAMALHO, L. S. G. **Reconfiguração dinâmica de estratégias distribuídas em dispositivos Foundation Fieldbus para a otimização de processos na indústria do petróleo**. 2009. 91 p. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia do Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

RIBEIRO, J. M. *et al.* **Sistema de moitoramento e controle de um processo de distribuição de água usando Arduino e protocolo GSM.** Florianópolis: [s.n], 2014.

RIBEIRO, M. A. **Controle de processos: teoria e aplicações.** 7.ed. Salvador: [s.n], 2011.

RIBEIRO, M.A. **Medição de vazão: fundamentos e aplicações.** 5. ed. Salvador: Inverno, 1997.

RODRIGUES, G.G. **Identificação de sistemas dinâmicos não-lineares utilizando modelos NARMAX Polinomiais: aplicação a sistemas reais.** Belo Horizonte: [s.n], 2000.

SALVIO, L. A. **Influência da pressão de operação no desempenho de transmissores diferenciais de pressão: uma análise metrológica.** 2008. 140 p. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Metrologia, Centro Técnico Científico, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

SANTOS, N. R. V; FELIPE, R. N. B.; MEDEIROS, G. G; FELIPE, R. C. T. S.; SILVA JR, N. F. **"Medição de petróleo em tanque: estudo da incerteza envolvida na determinação do BSW".** Belém:[s.n]. 20--.

SCHAF, F. M. **Arquitetura para ambiente de ensino de controle e automação utilizando experimentos remotos de realidade mista.** 2006. 207 p. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

SCHMIDT, C.G.; SALAS-MELLADO, M. Influência da ação das enzimas alcalase e flavourzyme no grau de hidrólise das proteínas de carne de frango. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 32, n. 5, p.44-47, 2009.

SHERCLIFF, J.A. **The Theory of Electromagnetic Flowmeasurement.** Londres: Ed. Cambridge, 1962.

SILVA, D. R. C. **Redes neurais artificiais no ambiente de redes industriais foundation fieldbus usando blocos funcionais padrões.** 2005. 78 p. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

SILVA, D. P. **Modelagem, análise e controle supervisorio de sistemas híbridos em uma planta piloto.** 2004. 113 p. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SILVA, H. A. da. **Análise metrológica do desempenho de medidores ultra-sônicos de vazão de líquidos como diagnóstico de calibração, instalação e operação.** 2008. 100 p. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Metrologia, Centro Técnico Científico, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

SOUZA, Z.; BORTONI, E. C. **Instrumentação para sistemas energéticos e industriais.** Rio de Janeiro: Novo Mundo, 2006.

THÜRLEMANN, B., Methode zur Elektrischen Geschwindigkeitsmessung in Flüssigkeiten, **Helv. Phys. Acta**, v.7, n.3, p. 383-419, 1941.

TORRES, N. A. **Competitividade empresarial com a tecnologia da informação**. São Paulo: Makron Books, 1995.

TOCCI, R. J.; WIDMER, N. S.; MOSS, G. L. **Sistemas digitais: princípios e aplicações**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

VOLTAN, D. A. **Desenvolvimento de um Sistema computacional integrado para monitoramento de parâmetros físico-químicos da água e análise óptica de gotejadores**. 2015. 81 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.

VUOLO, J. H. **Fundamentos de teoria de erros**. 2.ed. [S.l]: Edgard Blucher, 1992.

YODER, J. **The global market for magnetic flowmeters**. [S.l:s.n], 2005.

ZEILMANN, R. P. **Uma estratégia para controle e supervisão de processos industriais via internet**. 2002. 144 p. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós- Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

**ANEXO A - REGISTROS DE QUALIDADE DOS MEDIDORES DE VAZÃO
UTILIZADOS E REGISTRO DE LIBERAÇÃO DA CEGÁS PARA PUBLICAÇÃO
DOS DADOS**

 INMETRO RELATÓRIO DE VERIFICAÇÃO METROLÓGICA			Número de Controle (Etiqueta)	
			M.V. 00.600.084-8	
01-Instrumento	Medidor de gás	02-Marca	ACTATIS	
03-Modelo			G100	04-Número do INMETRO
				13366412
05-Dados Complementares			06-Número de Cadastro	07-Número de Série
Tipo: ROTATIVO			08-Código de Serviço	09-Valor
DN: 80mm			1037	R\$ 500,97
Lacre: G8100905-2			10-Nº de Bloquete 294103214000142146	
G8100904-0			11-Resultado	04
			12-Cód. Agente Metrológico	
			1628852	
			13-CNPJ ou CPF	
			03.784.680/000-4-12	
14-Nome / Razão Social			Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial	
15-Endereço			Av. Cap Mor Gouveia, 2770	
17-Bairro			Lagoa Nova	
18-CEP			59063-400	
21-Município			Natal	
22-UF			RN	
Certificado Emitido?			Recebi e Bloquete bancário devido aos serviços prestados nesta data.	
☐ Não ☐ Sim ☐ Confirmar Endereço			Ciência  Eliane Maria Pinto Lima Mat 162.885-2 - IPEM/RN	



Laboratório do Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis - LTG-ER
Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis - CTGAS-ER
SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL - SENAI/CTGAS-ER

Av. Capitão-Mor Gouveia, 2770 - Lagoa Nova - 59064-164 Natal, RN.
Tel.: 55 (84) 3204 - 8152 - litgen@ctgas.com.br - www.ctgas.com.br



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 4257/19-LMVG

Cliente : Companhia de Gás do Ceará - CEGÁS
Informações de Contato do Cliente : Avenida Washington Soares, nº 6475 - José de Alencar
Fortaleza/CE - CEP: 60.830-005

Solicitante : O mesmo
Informações de Contato do Solicitante : O mesmo

Ordem de Serviço : 0711-19

1. DADOS DO INSTRUMENTO

Instrumento	: Medidor rotativo	Fator k declarado	: 0,1 m³/pulso
Fabricante	: Acteris	Fator k admitido	: 0,1 m³/pulso
Modelo	: Delta	Faixa nominal	: (8 - 160) m³/h
Designação	: G100	Faixa calibrada	: (23 - 160) m³/h
Número de série	: 3400181686	Fluido de calibração	: AR
Diâmetro nominal	: 80 mm		

2. PADRÕES UTILIZADOS

2.1. PADRÕES DA GRANDEZA VOLUME

Instrumento : Medidor turbina
TAG : FE-02-02
Certificado : 1773/19-LMVG
Calibrado por : LTG-ER/LMVG
Validade da calibração : 9/1/2020
Incerteza Expandida : 0,25%

2.2. PADRÕES DAS GRANDEZAS AUXILIARES

Grandeza	: Temperatura	Temperatura	
TAG	: TIT-02-05	TIT-02-02	
Certificado	: 056/18-LT	053/18-LT	
Calibrado por	: LTG-ER/LT	LTG-ER/LT	
Validade da calibração	: 11/12/2019	13/12/2019	
Grandeza	: Pressão Atm.	Pressão	Pressão
TAG	: PIT-02-06	PIT-02-05	PIT-02-02
Certificado	: 128/18-LP	127/18-LP	124/18-LP
Calibrado por	: LTG-ER/LP	LTG-ER/LP	LTG-ER/LP
Validade da calibração	: 11/12/2019	11/12/2019	11/12/2019

3. MÉTODO E PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO

Os valores medidos foram obtidos pelo método de comparação, onde o instrumento em calibração e o padrão são submetidos a uma mesma vazão e os volumes totalizados por estes são comparados nas condições de base (101325 Pa e 20 °C) dentro de um intervalo de tempo determinado, conforme o procedimento PO-LTG-ER-001 (Calibração de Totalizadores de Volume de Gás), revisão 27.



Laboratório do Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis - LTG-ER
Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis - CTGAS-ER
SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL - SENAI/CTGAS-ER

Av. Capão-Mor-Gouveia, 2770 - Lagoa Nova - 59064-164 Natal, RN.
Tel: 55 (84) 3204 - 8152 - ligen@ctgas.com.br - www.ctgas.com.br



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 4257/19-LMVG

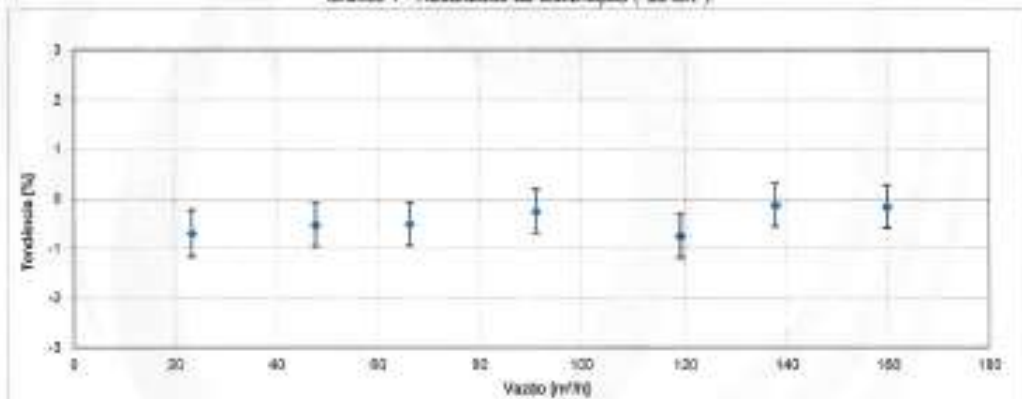
4. RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO "AS LEFT"

Os resultados da calibração são apresentados na tabela 1 e no gráfico 1 e foram obtidos à pressão atmosférica média de 100,7 kPa e temperatura ambiente média de 21,3 °C. Foi utilizado a saída de baixa frequência para aquisição de pulso. O valor da tendência é adquirido pela diferença entre o volume indicado pelo medidor em calibração e o volume de referência, dividido pelo volume de referência multiplicado por 100.

Tabela 1 - Resultados da Calibração ("as left").

Vazão do Medidor em Calibração [m³/h]	Q/Gross	Tendência da Indicação em Volume [%]	Desvio Padrão da Tendência [%]	Incerteza Expandida Tendência [%]	Fator de Abordagem k	Graus de Liberdade Efetivos Veff
23,27	0,15	-0,70	0,20	0,48	2,08	31
47,09	0,30	-0,53	0,12	0,44	2,03	97
66,24	0,41	-0,51	0,06	0,44	2,01	351
91,11	0,57	-0,26	0,09	0,44	2,01	213
119,06	0,74	-0,75	0,02	0,44	2,01	355
137,81	0,88	-0,13	0,03	0,44	2,01	354
159,79	1,00	-0,18	0,02	0,44	2,01	354

Gráfico 1 - Resultados da Calibração ("as left").



Nota 1: Os resultados apresentados em cada vazão de operação representam a média de 3 medições.

Nota 2: A incerteza expandida da medição relatada é declarada como o desvio padrão da medição multiplicado pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%, conforme Tabela 1.

Nota 3: O ajuste de manutenção não faz parte do escopo de acreditação do laboratório.

Data de Recebimento : 22/02/2019
Início da Calibração : 15/04/2019
Término da Calibração : 15/04/2019
Data de Emissão do Certificado : 16/04/2019


Ricardo Rieuenho de Freitas
Signatário Autorizado

Os resultados neste documento têm significação restrita e se aplicam ao espécime calibrado.

Os resultados deste documento não podem ser usados para fins promocionais.

A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração. Reprodução de partes requer a autorização escrita do laboratório.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR
INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL
 IPEN-SP
 CERTIFICADO DE VERIFICAÇÃO

MEDIDORES DE GAS

DOC	EXERCÍCIO	Nº DO CERTIFICADO	ES
19	113	13868898-E	
METROL	SERVIÇO	RESUL	DATA DA VERIFICAÇÃO
228	1404	4	20/08/0

MARCA	MODELO	Nº DO INMETRO	Nº DA SGA	VALOR
ACTARIS	G - 100		4011818929	42.70
Nº DE SGA	OUTRAS CARACTERÍSTICAS	C.R.F. / GRUPO		
3400151888	G MAX: 160,0 M3/H	60882719/0006 - 30		
3400151888				

NOME DO SAZÃO SOCIAL: ACTARIS LTDA.
 ENDEREÇO: AV. JOAQUIM BOER, 792 CEP: 13.477-360
 CÓDIGO GEOGRÁFICO: 903.900L300 BAIRRO / DISTRITO: VILA HELENA CIDADE / MUNICÍPIO: AMERICANA UF: SP

TIPO DE INSTRUMENTO OU MEDIDA: ROTATIVO
 DN: 80 MM

QT: 1
 Classe: ESTE INSTRUMENTO OU MEDIDA FOI EXAMINADO PELO INMETRO SENDO APROVADO
 Portaria: 047/08

PARA USO DO ÓRGÃO CHAMADOR: P. MONTES

ESTA VIA NÃO VALE COMO RECIBO
 ANTONIO PAULO VILELA
 Supervisor de Serviços

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR
INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL
 IPEN-SP
 CERTIFICADO DE VERIFICAÇÃO

MEDIDORES DE GAS

DOC	EXERCÍCIO	Nº DO CERTIFICADO	ES
19	113	13868898-E	
METROL	SERVIÇO	RESUL	DATA DA VERIFICAÇÃO
228	1404	4	20/08/0

MARCA	MODELO	Nº DO INMETRO	Nº DA SGA	VALOR
ACTARIS	G - 100		4011818929	42.70
Nº DE SGA	OUTRAS CARACTERÍSTICAS	C.R.F. / GRUPO		
3400151888	G MAX: 160,0 M3/H	60882719/0006 - 30		
3400151888				

NOME DO SAZÃO SOCIAL: ACTARIS LTDA.
 ENDEREÇO: AV. JOAQUIM BOER, 792 CEP: 13.477-360
 CÓDIGO GEOGRÁFICO: 903.900L300 BAIRRO / DISTRITO: VILA HELENA CIDADE / MUNICÍPIO: AMERICANA UF: SP

TIPO DE INSTRUMENTO OU MEDIDA: ROTATIVO
 DN: 80 MM

QT: 1
 Classe: ESTE INSTRUMENTO OU MEDIDA FOI EXAMINADO PELO INMETRO SENDO APROVADO
 Portaria: 047/08

PARA USO DO ÓRGÃO CHAMADOR: P. MONTES

ESTA VIA NÃO VALE COMO RECIBO
 ANTONIO PAULO VILELA
 Supervisor de Serviços



RELATAM DO CALIBRAÇÃO

LABORATÓRIO DOS TESTES UM4000

Banco do teste: **UM4000**
 Número do certificado: **CR846/09**
 Data do calibração: **17/8/2009**

Peticionário: **CEGAS**

INFORMAÇÕES TECNOLÓGICAS: PTE / INMETRO
 PROCESSO INMETRO: 5117/2007
 LAUDO INMETRO Nº: DMEX 2.002/2007
 CONFORMA NIE - DIAPL - 035
 APROVAÇÃO PTE INMETRO DE 10 ANOS DE VIGÊNCIA
 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA: PORTAL 114/97 INMETRO
 PORTAL 160 CIPF

DADOS DO MEDIDOR

Fabricante: **Actaris** K (pul./m³): **10**
 Modelo: **DELTA G100 DN80** Qmax (m³/h): **160**
 Calibre: **G100** Qmin (m³/h): **8**
 Número de série: **3400181686**

RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO:

Vazão do teste	Vazão real (m³/h)	Erro medidor (%)	Tolerância (%)
Qmax	159,86	0,39	± 1
0,7 Qmax	111,94	0,35	± 1
0,4 Qmax	64,15	-0,12	± 1
0,25 Qmax	40,06	0,09	± 1
0,1 Qmax	15,97	-0,35	± 2
Qmin	8,07	-1,41	± 2

Actaris Ltda
 Wilson Sarden

Segunda-feira, 17 de Agosto de 2009



Rodovia SP-73, 1141 - Bairro Pimenta

CEP: 13347-390 Indaiatuba/SP Tel.: (19) 3936-8300

Laboratório de Vazão

Relatório de Ensaio nº 100006488_1



1 - Dados do Cliente:

Cliente: CIA DE GAS DO CEARA - CEGAS AF: 21211
Endereço: AV. WASHINGTON SOARES, 55 11º ANDAR
CEP: 60811341 Cidade: FORTALEZA - CE País: BRASIL

2 - Dados do Instrumento

Tipo: Medidor de Vazão Volumétrica de Gás	Designação G 100
Fabricante: ITRON	Q _{mín} : 3,20 [m³/h]
Modelo: Rotativo - DELTA G100	Q _{máx} : 180,00 [m³/h]
Ano de fabricação: 2012	QI: 8,00 [m³/h]
Nº de série: 3400756204	Flange: 150#
Identificação:	Diâmetro: 50 [mm]
Volume inicial: 126.775,26 [m³]	Pulsos HF (Alta Frequência): - pulsos/m³
Volume final: 126.838,84 [m³]	Pulsos LF (Baixa Frequência): 10,00 pulsos/m³

3 - Inspeção Visual

Foi realizada a inspeção visual e o instrumento encontra-se de acordo com o modelo aprovado pela Portaria do INMETRO.

4 - Procedimento de Ensaio

O medidor de vazão de gás foi ensaiado em atendimento aos itens 5.2 e 6.1 da Portaria Inmetro 114/97, e ou item 10.2 da NORMA N° NIE-DIMEL-075, por comparação contra medidor de vazão de gás padrão, utilizando como fluido o ar na pressão atmosférica, e condições ambientais indicadas no campo 'Condições Ambientais'. Procedimento de ensaio utilizado IT-36 rev 2.

5 - Padrões Utilizados

Medidor Padrão número 1: Medidor Volumétrico para Gás

Marca: Meter
Tipo: Lóbulos rotativos
Modelo: IMRM G16
Nº de série: 2061621

Certificado de calibração: N° 100006282_1 de 31/03/2021

Medidor Padrão número 2: Medidor Volumétrico para Gás

Marca: Meter
Tipo: Lóbulos rotativos
Modelo: IMRM G660
Nº de série: 2061618

Certificado de calibração: N° 100006287_1 de 29/03/2021

Medidor Padrão número 3: Não aplicável

Marca:
Tipo:
Modelo:
Nº de série:

Certificado de calibração:

Medidor Padrão número 4: Não aplicável

Marca:
Tipo:
Modelo:
Nº de série:

Certificado de calibração:

Calibrações internas dos padrões rastreadas ao Laboratório FORCE TECHNOLOGY da Dinamarca.



Rodovia SP-73, 1141 - Bairro Pimenta

CEP: 13347-390 Indaial/SC Tel.: (19) 3836-9300

Laboratório de Vazão

Relatório de Ensaio nº 100006485_1

**6 - Condições Ambientais**

Pressão atmosférica: 94,6 kPa
 Temperatura ambiente: 22 °C

7 - Determinação da Incerteza

As incertezas relatadas neste relatório foram baseadas em suas respectivas incertezas padrão combinadas, multiplicadas pelo fator k correspondente, considerando uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.

8 - Informações Complementares

- É recomendável não utilizar o equipamento como referência fora da faixa de vazão de ensaio;
- Os resultados apresentados de cada vazão representam uma média de três medidas (n = 3);
- Os resultados deste relatório referem-se somente ao equipamento -ensaiado;
- Este relatório somente pode ser reproduzido por inteiro, sendo proibida sua reprodução parcial;
- Os resultados do ensaio contidos neste relatório somente devem ser utilizados para atender requisitos da Portaria Inmetro nº 400/2013, "não tendo respaldo legal pelo Inmetro/Dimel, se utilizado para outro propósito";
- Realizado o teste de estanqueidade e ensaio na pressão de 20mbar por 180 segundos sem apresentar vazamentos;
- Os resultados apresentados neste relatório foram obtidos a partir do sensor LP1, instalado no medidor.
- Selo metrológico AV192106 / 07 / 08: Portaria de aprovação de modelo INMETRO/DIMEL/Nº 047/2006

Data de ensaio

18/07/2021

Data de emissão

18/07/2021

9 - Resultados

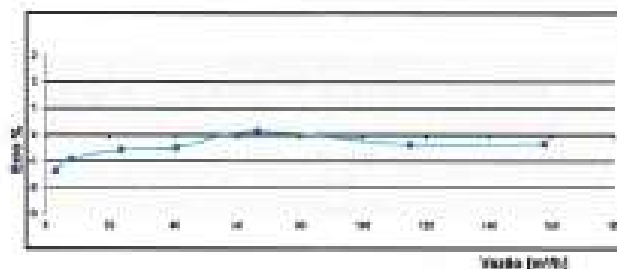
Vazão de ensaio [m³/h]	Vazão de referência [m³/h]	$\frac{Q}{Q_{ref}}$ [%]	Erro [%]	Desvio Padrão [%]	Incerteza expandida U95 [%]	Fator de abrangência k	Graus de liberdade efetivos ν_{eff}
157,763	158,275	Qmax	-0,32	0,007	0,45	2,00	1661625
114,726	115,131	73	-0,35	0,123	0,62	2,13	21
66,359	66,159	42	0,15	0,019	0,45	2,00	32035
40,469	40,661	26	-0,47	0,108	0,57	2,05	54
23,794	23,927	15	-0,56	0,025	0,46	2,00	15186
7,930	8,002	5	-0,91	0,032	0,46	2,00	5863
3,135	3,177	Qmin	-1,34	0,296	2,28	4,53	2

Erro Médio Percentual

$$EM\% = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(Q_i - Q_{ref})}{Q_{ref}}}{n} \cdot 100 = -0,287$$

coef:
 Qi = Vazão inicial
 Qref = Vazão máxima
 Qi/Qref = Fator de ponderação
 Si = Erro nas vazões i

$\% \text{ Erro} = \frac{\text{vazão de ensaio} - \text{vazão de referência}}{\text{vazão de referência}} \cdot 100$

**10 - Conclusão**

A empresa Gascat Indústria e Comércio Ltda está autorizada a declarar conformidade de medidor de gás sob a supervisão metrológica da diretoria de Metrologia Legal do INMETRO, como alternativa à verificação inicial, e após reparo, de acordo com a Portaria INMETRO/DIMEL nº 108 de 14 de junho de 2019 e aditivo portaria INMETRO/DIMEL nº 126, de 2 de julho de 2019. De acordo com os resultados apresentados o instrumento de medição constante neste relatório de ensaio está em conformidade com os requisitos estabelecidos no Regulamento Técnico Metrológico (RTM-114) e portaria de aprovação de modelo aplicável ao respectivo instrumento.

GUILHERME
ALEXANDRE
DIAS/41393991807

Assinado de forma digital por
GUILHERME ALEXANDRE
DIAS/41393991807
Data: 2021.07.22 16:12:24 -03'00'

(Assinatura)

JAMERSON DE
MAGALHÃES
SOUZA/22851959824

Assinado de forma digital por
JAMERSON DE MAGALHÃES
SOUZA/22851959824
Data: 2021.07.22 15:19:28 -03'00'

(Assinatura Autorizada)

 MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA		CERTIFICADO DE VERIFICAÇÃO: 15469867	
		PRODUTOR 120	NÚMERO DO PERÍODO 000
INSTRUMENTO MEDIDOR DE GAS	MARCA ITRON	MODELO G100	NÚMERO DE SÉRIE 3400756204
DADOS COMPLEMENTARES: QMAX: 160M3/H DN: 50MM CLIENTE: CEGAS INSTRUMENTO APROVADO		ROTATIVO PORT. 047/06	CÓDIGO SERVIÇO 1036
		VALOR 278,32	
		NÚMERO DO DOCUMENTO DE AUTENTICAÇÃO 29410321300015152X	
		CNPJ ou CPF 60882719000130	
NOME/RAC/SOCIAL ITRON LTDA		DATA 16/05/2017	
ENDEREÇO AVENIDA JOAQUIM BOER, 792			
BAIRRO VILA HELENA	CEP 13477-360	AGENTE METROLÓGICO MARIANA C. LORENZETE2484	
MUNICÍPIO AMERICANA	UF SP	TELEFONE 19-3471840	FUNÇÃO



Certificado de Calibração

Nº 24196

1/1

Data da Calibração: 08/05/2017

1. Cliente:

CEGAS

Endereço: Av. Washington Soares, 55 - COGO - Fortaleza - CE - CEP: 66811-361

2. Informações do Medidor

Designação: 0100

Fabricante: ITRON

Modelo: 021-10

Quem (cm³/h): 168

Quem (m³/h): 3,2

Modelo: DELTA
Tipo: ROTATIVO
Nº Série: 146213181
K (pastilha): 33
K (pastilha): 33

Ano Fabricação: 1913
Registro Inicial: 12,82 m³
Registro Final: 42,71 m³
Fator 1: Bateria Frequência 1
Fator 2: Bateria Frequência 2

3. Padrões Utilizados

	Nº Certif.	Validade
Medidor Padrão: 51-Flow (G60 DMSO - Nº 875164061)	146213-181	ju-19
Medidor Padrão: Delta (G60 DMSO - Nº 875164061)	146213-181	ju-19
Termômetro de resistência - PT108 do 0 a 30°C (Padrão G60)	17 - 129 048	ju-17
Termômetro de resistência - PT108 do 0 a 30°C (Padrão G60)	17 - 129 047	ju-17
Termômetro de resistência - PT108 do 0 a 30°C (Medidor em Teste)	17 - 129 048	ju-17
Medidor Digital de 60 a 100 l/min (Para)	CAL-A 10383-16	ago-17
Medidor Digital de 0 a 20 l/min (Diferencial de 100 mm)	CAL-A 10383-16	ago-17
Medidor Digital de 0 a 100 l/min (Med. em teste)	CAL-A 10384-16	ago-17
Medidor Digital de 0 a 100 l/min (Padrão)	CAL-A 10384-16	ago-17

4. Métodos e Equipamento

Interação: 100000

Descrição: Bateria UT-0229 (F00-14)

Fluido Utilizado na Calibração: AR

Nº Certificado: 150163/2016

Validade: 08/2017

5. Ambiente Laboratorial

Temperatura: 21,1 °C

Pressão Barométrica: 943 mmHg

Umidade relativa (40 a 70 %): 33 %

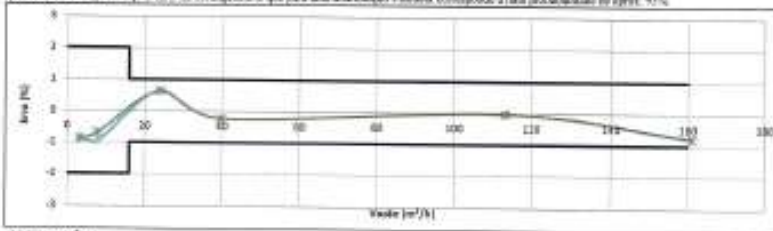
6. Resultados da Calibração

Percentual em relação a	Valor Indicado	Bateria Frequência 1				Bateria Frequência 2				Erro Máximo Admitido
		Vol. Padrão / Vol. Medidor	Erro	Incerteza Expandida	Fator de Ajustamento	Vol. Padrão / Vol. Medidor	Erro	Incerteza Expandida	Fator de Ajustamento	
Valor Máximo	(m³)	(m³)	(%)	(%)	(m³)	(m³)	(%)	(%)	(m³)	(%)
100	161,84	2,82 / 2,88	-0,21	0,85	2,00	1,00 / 1,00	-0,79	0,83	1,00	1
10	117,29	1,80 / 1,84	-0,03	0,85	2,00	1,00 / 1,00	-0,82	0,83	1,00	1
25	78,70	0,70 / 0,73	-0,23	0,85	2,00	0,70 / 0,70	-0,31	0,83	1,00	1
15	31,96	0,30 / 0,33	-0,66	0,85	2,00	0,30 / 0,30	-0,83	0,83	1,00	1
3	1,91	0,20 / 0,23	-0,94	0,85	2,00	0,20 / 0,20	-0,70	0,83	1,12	2
2	1,38	0,10 / 0,13	-0,82	0,85	2,00	0,10 / 0,10	-0,90	0,83	1,88	2
1										
0										
-1										
-2										
-3										
-4										
-5										

Curva 1 Curva Média Padronizada - EMP (10,43): -0,22

Curva 2 Curva Média Padronizada - EMP (10,40): -0,22

A. Incertezas: foi calculada com referência ao "Valor por o Exprimido da Incerteza da Medição", e corresponde à incerteza padronizada multiplicada pelo fator de abrangência k, que para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de 95%.



Observação:

CALIBRAÇÃO INICIAL

[Signature]
VALÉRIO A. DA SILVA
Assistente

[Signature]
Henrique da Silva Melo
Supervisor Técnico

Data da Emissão: 9 maio, 2017

Certificado emitido pelo Itron, sob a responsabilidade do Itron, e não se responsabiliza por danos materiais ou pessoais decorrentes do uso do produto.

 MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS - MDIC INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO INSTITUTO DE PESOS E MEDIDAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPEM-SP		Doc.19	
		CERTIFICADO DE VERIFICAÇÃO: 15620822	
Instrumento	Marca	Executor	Número do INMETRO
MEDIDOR VOLUMÉTRICO PARA GÁS	FMG	113	N/C
Dados complementares Qmax - 160 m³/h LACRES: G7425195-2 / 96-5 ROTATIVO DN 80 - 150#		Modelo	Número de Série
Portaria de aprovação de modelo: Portaria de Apr. 114/1997		ROTATIVO G100	R000034494
		Código Serviço	Valor
		1037	417,48
		Número do Documento de Arrecadação	
		294103213000848873	
		CNPJ ou CPF 00.965.449/0001-94	
Nome/Razão Social		Data	
GASCAT INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA		Verificado em 03/10/2018 conforme Portaria QT: 1 PORTARIA N° 182/2013 sendo APROVADO	
Endereço		Agente Metroológico	
RODOVIA SP73 Nº1141		Regina Célia dos Santos	
Bairro	CEP	ESPECIALISTA EM METROLOGIA E QUALIDADE	
BAIRRO PIMENTA	13147-390	170	
Município	U.F.	Telefone	
INDAIATUBA	SP	19 - 3936 9300	



Rodovia SP-73, 1141 - Bairro Pimenta
CEP: 13147-390 Indaiatuba/SP Tel.: (19) 3936-9300

Laboratório de Vazão
Certificado de Calibração n° 100002682_1

1 - Dados do Cliente:

Cliente: GÁS DE GÁS DO CEARÁ
Endereço: Rua MORADA DO SOL, 190 - Fátima A 141
CEP: 61913189
Cidade: MARACANAU - CE
Pais: BRASIL

2 - Dados do Instrumento

Tipo: Medidor de Vazão Volumétrico de Gás Fabricante: FMG Modelo: Medidor Volumétrico de Gás Nº do série: R000034494 Flange: 150# Diâmetro: 80 [mm] Volume inicial: ? [m³] Volume final: 80 [m³]	Designação Q: 160 Qmín: 1,66 [m³/h] Qmáx: 160 [m³/h] Qf: 8 [m³/h] Pulso HP (Alta Frequência): 430 [pulsos/m³] Pulso LF (Baixa Frequência): 1 [pulsos/m³]
---	---

3 - Estanqueidade

Realizado ensaio na pressão de 20 mbar por 180 segundos sem apresentar anomalias.

4 - Procedimento de Calibração

O medidor de vazão de gás foi calibrado por comparação com medidor de vazão de gás padrão, utilizando como fluido o ar na pressão atmosférica, e condições ambientais indicadas no campo "Condições Ambientais".
Procedimento de calibração utilizado: IT-30 Rev. 02.

5 - Padrões Utilizados

Medidor Volumétrico para Gás Marca: Inmetro Tipo: Líquido rotativo Modelo: M10M (G10) Nº de série: 2081021 Certificado de calibração: IPT Nº 185 537.101 de 11/04/2018	Medidor Volumétrico para Gás Marca: Inmetro Tipo: Líquido rotativo Modelo: M10M (G60) Nº de série: 2051810 Certificado de calibração: IPT Nº 185 534.101 de 11/04/2018
---	---

Calibrações feitas nos padrões rastreáveis ao Laboratório VSL - NMI (Nederlandsche Meetinstituut) da Holanda.

6 - Condições Ambientais

Pressão atmosférica: 94,7 kPa
Temperatura ambiente: 23 °C

7 - Determinação da Incerteza

As incertezas relatadas neste certificado foram avaliadas em suas respectivas incertezas padrão combinadas, multiplicadas pelo fator k correspondente (k=2), considerando uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.

8 - Informações Complementares

- É recomendável não utilizar o equipamento como referência fora de faixa de vazão calibrada;
- Os resultados apresentados de cada vazão representam uma média de três medições (n = 3);
- Os resultados deste certificado referem-se somente ao equipamento calibrado;
- Este certificado somente pode ser reproduzido por inteiro, sendo proibida sua reprodução parcial.

Data de calibração: 03/10/2018
Data de emissão: 04/10/2018



Rodovia SP-73, 1141 - Bairro Planalto
CEP: 13347-300 Indaiatuba/SP Tel.: (19) 3336-0368

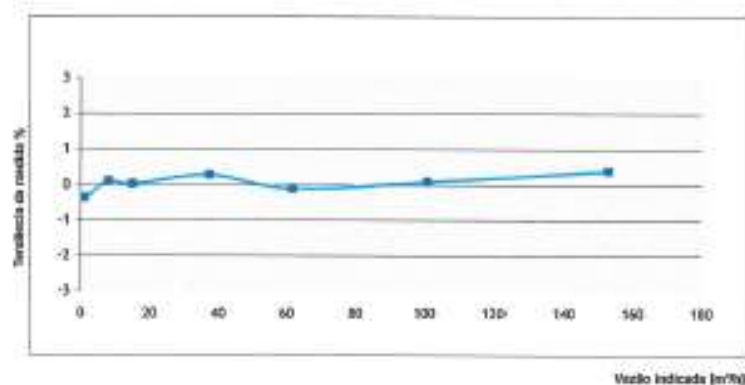
Laboratório de Vazão

Certificado de Calibração n°

100002682_1

9 - Resultados

Valor de calibração (m³/s)	Valor Indicado (m³/s)	Valor Referência (m³/s)	Fator K determinado polino/m³	Tendência da leitura (%)	Desvio Padrão (%)	Incerteza expandida U95 (%)	Fator de abrangeção k	Grau de liberdade eleitos Veff
100	152.887	152.121	1.004	0.40	0.088	0.30	2.00	31
100.2	150.696	150.546	1.001	0.10	0.087	0.45	2.00	405
84	81.485	81.549	0.999	-0.10	0.168	0.69	2.45	7
40	37.287	37.189	1.003	0.26	0.034	0.26	2.00	20823
16	14.785	14.779	1.000	0.04	0.043	0.30	2.30	1995
8	7.704	7.895	1.001	0.11	0.017	0.29	2.30	74555
1	0.923	0.926	0.995	-0.37	0.064	0.36	2.30	560



GASCAT IND. E COM. LTDA.
GUILHERME DIAS
04/10/19
LABORATÓRIO DE VAZÃO
Consultor

GASCAT IND. E COM. LTDA.
Laboratório de Vazão
(Registado e Autorizado)



Rodovia SP-73, 1141 - Bairro Pimenta

CEP: 13347-390 Indaiatuba/SP Tel.: (19) 3938-9308

Laboratório de Vazão

Relatório de Ensaio nº 100008405_1



1 - Dados do Cliente:

Cliente: CIA DE GAS DO CEARA - CEGAS
Endereço: AV. WASHINGTON SOARES, 55 11º ANDAR
CEP: 60811341 Cidade: FORTALEZA - CE

JAF:

País: BRASIL

2 - Dados do Instrumento

Tipo: Medidor de Vazão Volumétrica de Gás	Designação G 100
Fabricante: FMG	Q _{min} : 1,60 [m³/h]
Modelo: Rotativo - FMR G100	Q _{máx} : 160,00 [m³/h]
Ano de fabricação: 2015	Q _t : 16,00 [m³/h]
Nº de série: R000010936	Flange: 150#
Identificação:	Diâmetro: 80 [mm]
Volume inicial: 699.044,6 [m³]	Pulsos HF (Alta Frequência): - pulsos/m³
Volume final: 699.104,1 [m³]	Pulsos LF (Baixa Frequência): 1,00 pulsos/m³

3 - Inspeção Visual

Foi realizada a inspeção visual e o instrumento encontra-se de acordo com o modelo aprovado pela Portaria do INMETRO.

4 - Procedimento de Ensaio

O medidor de vazão de gás foi ensaiado em atendimento aos itens 6.2 da Portaria Inmetro 156/2022, por comparação contra medidor de vazão de gás padrão, utilizando como fluido o ar na pressão atmosférica, e condições ambientais indicadas no campo 'Condições Ambientais'. Procedimento de ensaio utilizado IT-36 rev-04.

5 - Padrões Utilizados

Medidor Padrão número 1: Medidor Volumétrico para Gás
Marca: IMeter
Tipo: Lóbulos rotativos
Modelo: IMRM G16
Nº de série: 2061621
Certificado de calibração: Nº 100006282_1 válido até 03/2024

Medidor Padrão número 2: Medidor Volumétrico para Gás
Marca: IMeter
Tipo: Lóbulos rotativos
Modelo: IMRM G850
Nº de série: 2061618
Certificado de calibração: Nº 100006287_1 válido até 03/2024

Medidor Padrão número 3: Não aplicável
Marca:
Tipo:
Modelo:
Nº de série:
Certificado de calibração:

Medidor Padrão número 4: Não aplicável
Marca:
Tipo:
Modelo:
Nº de série:
Certificado de calibração:

Calibrações internas dos padrões rastreadas ao Laboratório FORCE TECHNOLOGY da Dinamarca.



Rodovia SP-73, 1141 - Bairro Pimenta

CEP: 13347-390 Indaiatuba/SP Tel.: (19) 3936-8300

Laboratório de Vazão

Relatório de Ensaio nº 100008405_1

**6 - Condições Ambientais**

Pressão atmosférica: 95,2 kPa
 Temperatura ambiente: 22 °C

7 - Determinação da Incerteza

As incertezas relatadas neste relatório foram baseadas em suas respectivas incertezas padrão combinadas, multiplicadas pelo fator k correspondente, considerando uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.

8 - Informações Complementares

- É recomendável não utilizar o equipamento como referência fora da faixa de vazão de ensaio;
- Os resultados apresentados de cada vazão representam uma média de três medidas (n = 3);
- Os resultados deste relatório referem-se somente ao equipamento ensaiado;
- Este relatório somente pode ser reproduzido por inteiro, sendo proibida sua reprodução parcial;
- Os resultados do ensaio contidos neste relatório somente devem ser utilizados para atender requisitos da Portaria Inmetro nº 400/2013, "não tendo respaldo legal pelo Inmetro/Dimel, se utilizado para outro propósito";
- Realizado o teste de estanqueidade e ensaio na pressão de 20mbar por 180 segundos sem apresentar vazamentos;
- Os resultados apresentados neste relatório foram obtidos a partir do sensor LF1, instalado no medidor;
- Selo metrológico BN002041 / 42; Portaria de aprovação de modelo INMETRO/DIMEL/Nº 182/2013;

Data de ensaio

15/06/2022

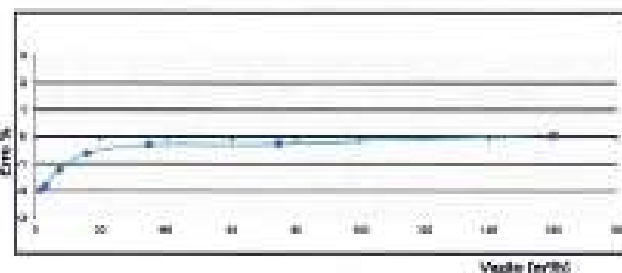
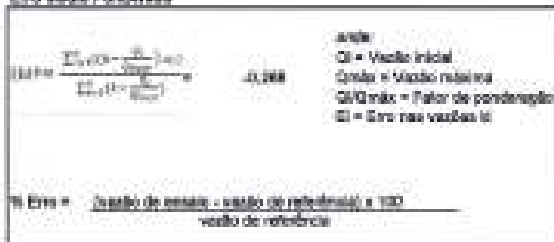
Data de emissão

15/06/2022

9 - Resultados

Vazão de ensaio [m³/h]	Vazão de referência [m³/h]	$\frac{Q}{Q_{ref}}$ [%]	Erro [%]	Desvio Padrão [%]	Incerteza expandida U95 [%]	Fator de abrangência k	Graus de liberdade efetivos Veff
160,245	160,128	Qmax	0,07	0,118	0,61	2,11	25
74,749	74,934	47	-0,25	0,018	0,45	2,00	38956
35,290	35,389	22	-0,28	0,008	0,45	2,00	1628911
16,086	16,182	10	-0,60	0,013	0,45	2,00	243351
7,570	7,663	5	-1,23	0,048	0,47	2,00	1234
3,357	3,418	2	-1,77	0,063	0,49	2,00	409
1,549	1,580	Qmin	-1,96	0,097	0,55	2,03	78

Erro Médio Ponderado

**10 - Conclusão**

A empresa Gascat Indústria e Comércio Ltda está autorizada a declarar conformidade de medidor de gás sob a supervisão metrológica da diretoria de Metrologia Legal do INMETRO, como alternativa à verificação inicial, e após reparo, de acordo com a Portaria INMETRO/DIMEL nº 108 de 14 de junho de 2019 e aditivo portaria INMETRO/DIMEL nº 125, de 2 de julho de 2019. De acordo com os resultados apresentados o instrumento de medição constante neste relatório de ensaio está em conformidade com os requisitos estabelecidos no RTM158/2022 e PAM aplicável ao respectivo instrumento.

LUCAS RIBEIRO DA SILVA-46360561832
 Assinado eletronicamente por
 LUCAS RIBEIRO DA SILVA-46360561832
 Data: 2022.06.15 14:16:19 -0300

(Emissor)

LUCIANO JOSE DA SILVA-00953195147
 Assinado eletronicamente por
 LUCIANO JOSE DA SILVA-00953195147
 Data: 2022.06.15 14:16:19 -0300

(Signatário Autorizado)



Laboratório do Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis - LTG-ER
Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis - CTGAS-ER
SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL - SENAI/CTGAS-ER

Av. Capitão-Mor Osório, 2770 - Lagoa Nova - 33054-164 Natal, RN.
Tel: 55 (84) 3204 - 8152 - figer@ctgas.com.br - www.ctgas.com.br



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 2423/19-LMVG

Cliente : Companhia de Gás do Ceará - CEGÁS
Informações de Contato do Cliente : Avenida Washington Soares, nº 6475 - José de Alencar
Fortaleza/CE - CEP: 60.830-006

Solicitante : O mesmo
Informações de Contato do Solicitante : O mesmo

Ordem de Serviço : 0721-18

1. DADOS DO INSTRUMENTO

Instrumento	Medidor rotativo	Fator k declarado	1 m³/pulso
Fabricante	FMG	Fator k admitido	1 m³/pulso
Modelo	FMR	Faixa nominal	(1,6 - 160) m³/h
Designação	G100	Faixa calibrada	(16 - 157) m³/h
Número de série	R000010836	Fluido de calibração	AR
Diâmetro nominal	80 mm		

2. PADRÕES UTILIZADOS

2.1. PADRÕES DA GRANDEZA VOLUME

Instrumento	Medidor turbina
TAG	FE-02-02
Certificado	1773/19-LMVG
Calibrado por	LTG-ER/LMVG
Validade da calibração	9/1/2020
Incerteza Expandida	0,25%

2.2. PADRÕES DAS GRANDEZAS AUXILIARES

Grandeza	Temperatura	Temperatura	
TAG	TIT-02-06	TIT-02-02	
Certificado	066/18-LT	053/18-LT	
Calibrado por	LTG-ER/LT	LTG-ER/LT	
Validade da calibração	11/12/2019	13/12/2019	
Grandeza	Pressão Abs	Pressão	Pressão
TAG	PIT-02-06	PIT-02-05	PIT-02-02
Certificado	128/18-LP	127/18-LP	124/18-LP
Calibrado por	LTG-ER/LP	LTG-ER/LP	LTG-ER/LP
Validade da calibração	11/12/2019	11/12/2019	11/12/2019

3. MÉTODO E PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO

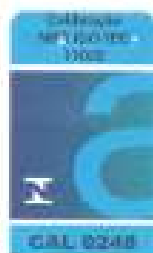
Os valores medidos foram obtidos pelo método de comparação, onde o instrumento em calibração e o padrão são submetidos a uma mesma vazão e os volumes totalizados por estes são comparados nas condições de base (101325 Pa e 20 °C) dentro de um intervalo de tempo determinado, conforme o procedimento PO-LTG-ER-001 (Calibração de Totalizadores de Volume de Gás), revisão 27.

Os resultados e este documento têm validade restrita e se aplicam ao espécime calibrado.

Os resultados deste documento não podem ser usados para fins promocionais.

A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração. Reprodução de partes requer a aprovação escrita do laboratório.





Laboratório do Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis - LTG-ER
Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis - CTGAS-ER
SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL - SENAI/CTGAS-ER

Av. Capitão-Mor Gouveia, 3770 – Lagos Nova – 59064-164 Natal, RN.
Tel: 55 (84) 3204 – 8152 - ltg@ctgas.com.br - www.ctgas.com.br



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 2423/19-LMVG

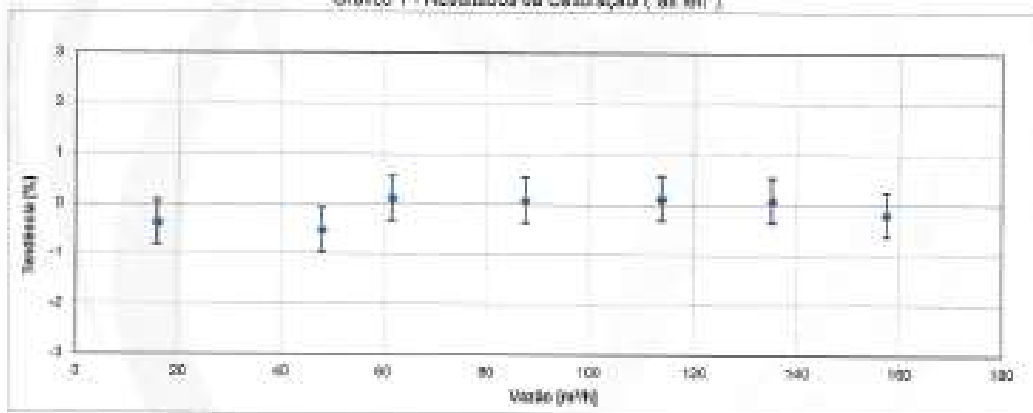
4. RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO "AS LEFT"

Os resultados da calibração são apresentados na tabela 1 e no gráfico 1 e foram obtidos à pressão atmosférica média de 100,7 kPa e temperatura ambiente média de 22,1 °C. Foi utilizado a saída de baixa frequência para aquisição de pulsos. O valor da tendência é adquirido pela diferença entre o volume indicado pelo medidor em calibração e o volume de referência, dividido pelo volume de referência multiplicado por 100.

Tabela 1 - Resultados da Calibração ("as left")

Variação do Medidor em Calibração	Q1/Qmref	Tendência da Indicação em Volume	Desvio Padrão da Tendência	Incerteza Expandida Tendência	Fator de Abordagem	Graus de Liberdade Efetivos
[m³h]		[%]	[%]	[%]	k	Varf
15,57	0,10	-0,37	0,04	0,44	2,01	427
47,60	0,30	-0,52	0,09	0,44	2,01	108
81,57	0,38	0,12	0,15	0,44	2,05	55
87,60	0,55	0,08	0,03	0,44	2,01	368
113,53	0,71	0,12	0,09	0,44	2,01	215
135,10	0,84	0,08	0,02	0,44	2,01	368
157,43	0,95	-0,19	0,04	0,44	2,01	355

Gráfico 1 - Resultados da Calibração ("as left")



Nota 1: Os resultados apresentados em cada variação de operação representam a média de 3 medições.

Nota 2: A incerteza expandida da medição relatada é declarada como o intervalo possível de medição multiplicado pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%, conforme Tabela 1.

Nota 3: O ajuste ou manutenção não faz parte do escopo de acreditação do laboratório.

Data de Recebimento : 22/03/2018
Início da Calibração : 10/04/2019
Término da Calibração : 10/04/2019
Data de Emissão do Certificado : 11/04/2019


Ricardo Risuanno de Freitas
Signatário Autorizado

Os resultados neste documento têm significação técnica e se aplicam ao equipamento calibrado.

O resultado deste documento não podem ser usados para fins promocionais.

A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração. Reprodução de partes requer a aprovação escrita do laboratório.



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 100001284_1

Cliente: CIA DE GAS DO CEARA - CEGAS
Endereço: AV. WASHINGTON SOARES, 55 11º ANDAR
Cep: 60011341
Cidade: FORTALEZA - CE
País: BRASIL
Certificado: 100001284_1

Medidor ensaiado:

Fabricante: FMC
Modelo: Medidor volumétrico tipo rotativo para gás.
Nº de série: R000010936
Flange: 150 #
Diâmetro: 80 [mm]
Volume: Início 15 [m3]
 Final 52 [m3]
Designação G: 100
Q_{min}: 1,60 [m3/h]
Q_{max}: 160 [m3/h]
Q_t: 8 [m3/h]
Data de calibração: 31-08-2015 / 17:28

Valores de Pulsos:
 HF (Alta Frequência): - pulsos/m³
 LF (Baixa Frequência): 1 pulsos/m³

Inspecção do Corpo do medidor:

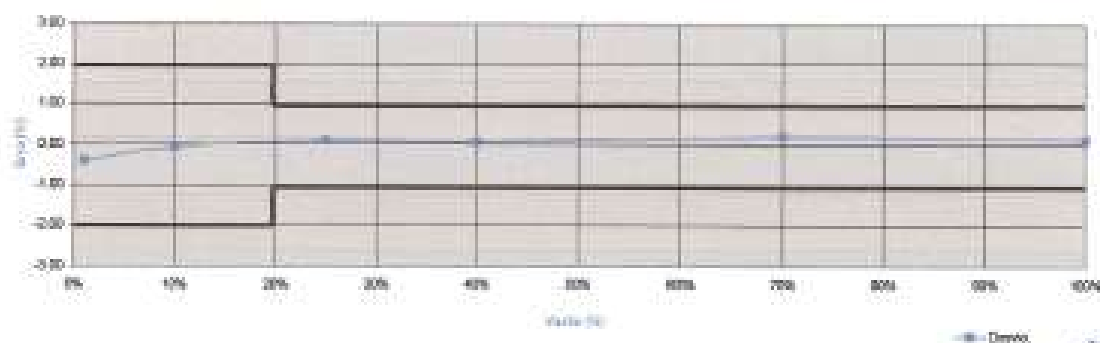
Certificamos que o instrumento listado acima foi submetido a testes de vazamentos em temperatura ambiente e foram aprovados, estando absolutamente estanques.

Teste de resistência a 32 barg com o ar durante 3 minutos.

Teste de vazamento em 24 barg com o ar durante 3 minutos.

Tabela : 1

Curva de descompensação



Gascal Indústria e Comércio Ltda.
 Rod. SP 73, 1141, Bairro Pimenta - Indaiatuba - SP
www.gascal.com.br

Página 1 de 2



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 100001284_1

Tabela : 2

Resultados da calibração				Erro Médio Ponderado (EMP)	
Vazão (m³/h)	Q/Qmax (%)	Erro (%)	Incerteza da medição (%)	$EMP = \frac{\sum_{i=1}^n x_i E_i}{\sum_{i=1}^n x_i} = 0,120 \%$	
160,00	Qmax	0,13	0,25	$ERRD = \frac{\text{volume medido} - \text{volume de referência} \times 100}{\text{volume de referência}} \%$	
112,00	70,00	0,20	0,34		
64,00	40,00	0,05	0,25		
40,00	25,00	-0,08	0,25		
24,00	10,00	-0,07	0,25		
1,60	Qmin	-0,39	0,53		

TESTE DE ESTANQUEIDADE

Realizado a uma pressão de -20 mbar por 180s sem apresentar vazamentos.

PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO

O medidor foi calibrado segundo o procedimento de calibração de medidores GASCAT IT-3B (baseado na OIML R32) Portaria do INMETRO 114 de 18/10/1997.

PADRÕES UTILIZADOS

Medidor de vazão rotativo G-16 série: 2081821 certificado nº: QACC2081821-01

Medidor de vazão rotativo G-850 TWIN série: 2050288 certificado nº: QACC2050288-01

Medidor de vazão rotativo G-850 TWIN série: 2050158 certificado nº: QACC2050158-01

Medidor de vazão rotativo G-850 TWIN série: 2081818 certificado nº: QACC2081818-01

Calibrações internas dos padrões rastreadas ao NMI Netherlands Meetinstituut da Holanda.

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

- a) É recomendável não utilizar o medidor como referência fora da faixa de vazão calibrada.
- b) Os resultados apresentados de cada vazão representam uma média de três medições (n = 3).
- c) Durante a calibração foram registradas as seguintes condições ambientais:
Pressão atmosférica: 95,0 Kpa ± 0,3 ; Temperatura: 20 ° C ± 0,4 ; Umidade relativa do ar: 70,5 % ± 3,5

Jorge Enrique Miranda Pino
Gerente Técnico

Paulo Victor Amorim
Eletrônicista



AUTORIZAÇÃO DE COLETA, USO E PUBLICAÇÃO DE DADOS

Autorizo o Sr. **Jardel Alves Barros** (Químico, Pós-graduado nos cursos de Engenharia de Automação e Engenharia de petróleo da Universidade de Fortaleza e Técnico de Processos Operacionais da Companhia de Gás do Ceará), coletar e publicar, imagens e registros de medição e composição do gás, em qualquer tipo de mídia e dados da estação de recebimento de gás natural e biometano da malha de distribuição da companhia, para uso exclusivo de construção de trabalhos acadêmicos.

Os trabalhos a serem desenvolvidos deverão abordar a área de simulação, controle e automação, devendo ter como orientação a **Tratamento dos sinais de pulso de medidores de vazão, tipo turbina, utilizados na medição volumétrica e telemetria das Estações de Transferência de Custódia de Gás Natural**. A pesquisa a ser desenvolvida no curso de Mestrado de Engenharia de Telecomunicações, na linha de pesquisa de Processamento Digital de Sinais Aplicados a Telecomunicações não poderá coletar, tratar ou publicar dados e/ou informações confidenciais da companhia.

Deverá ser entregue uma cópia à diretoria da companhia, com 30 (dias) dias de antecedência à publicação, para prévia verificação e, caso necessário, correção de tópicos abordados.

Todo artigo a ser publicado deverá ter uma cópia entregue ao arquivo da companhia para compor o acervo técnico.

Fortaleza/CE, 08 de dezembro de 2020.



Flávio Borges Barros
Diretor Técnico Comercial