

10º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Estudo e Implementação da Medição de Vazão de Gás Natural Utilizando Plataformas Abertas de Automação

AUTORES:

Taynan Roger Silva

INSTITUIÇÃO:

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DA MEDIÇÃO DE VAZÃO DE GÁS NATURAL UTILIZANDO PLATAFORMAS ABERTAS DE AUTOMAÇÃO

Abstract

Electronic measurement by equipments called volume converters and flow computers is quite common in the natural gas industry. Its basic purposes are to perform normalization calculations of values for reference conditions and to allow the traceability of measurements. Currently, flow computers for these purposes have been built as dedicated and exclusive devices. However, some authors suggest a new concept for flow computers, such as open systems running on personal computers. Others propose flow computers based on programmable logic controllers. From the perspective of the implementation of the compensated flow calculation algorithm the proposal may seem simple and easy to implement, but in regards to the audit requirements and data records there are doubts if open source automation systems are capable of elevating such measurement systems to this new level, especially concerning the aspects established by the ABNT NBR 14978:2003 standard, which establishes the minimum requirements for electronic natural gas measurement systems. Thus, in this work, the natural gas flow measurement for turbine meters was implemented using a Raspberry Pi microcomputer. This study validated the use of algorithms, databases and security systems for volume converters using the CoDeSys, Node-RED and MySQL platforms as a way to highlight existing barriers and limitations, so that the technological revolutions witnessed in the so-called Fourth Industrial Revolution also happen in natural gas flow measurement systems.

Keywords: Flow Measurement. Natural Gas. Raspberry Pi.

Introdução

O gás natural tem ganhado cada vez mais destaque e participação na matriz energética brasileira e mundial. Para o uso pelo consumidor final o combustível percorre uma longa cadeia de processos. Soares (2004) define seis elos da cadeia produtiva, sendo eles exploração, exploração, produção, processamento, transporte/armazenamento e distribuição [1]. Na distribuição o gás natural é submetido à regulação estadual, enquanto que nos processos anteriores o combustível é resignado à regulação federal. Isso porque a Constituição Federal, no Art. 177, determinou que se constitui monopólio da União a exploração, produção, importação, exportação e o transporte de petróleo e gás natural, enquanto que o Art. 25, determinou que “cabe aos Estados explorar diretamente, ou mediante concessão, os serviços locais de gás canalizado” [2].

Assim, entre o transporte e a distribuição, nos chamados pontos de entrega (City Gates), ocorre a transferência de custódia onde o agente transportador repassa o gás natural ao agente distribuidor através de sistemas de medição de vazão. Rodrigues (2011) define a transferência de custódia como sendo a medição de vazão que tem a finalidade de determinar um volume sobre o qual o pagamento é feito ou recebido quando ocorre a transferência de propriedade do gás. Esses sistemas de medição são de extrema importância, uma vez que existe troca de dinheiro de enormes quantidades. “Na medição para transferência de custódia devemos estar permanentemente conscientes de que a medição de vazão é, na realidade, medição de dinheiro” [3].

Atualmente tais sistemas de medição são regulamentados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) juntamente com outros órgãos estaduais. Através de portarias, leis e decretos criados em conjunto com o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e a Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado (ABEGÁS) definem-se normas e regulamentos técnicos

de medição aplicáveis ao setor. Dentre essas normas, destaca-se a publicação ABNT NBR 14978:2003 que estabelece os requisitos mínimos para sistemas de medição eletrônica de gás.

A medição eletrônica de gás por equipamentos conhecidos como conversores de volumes e computadores de vazão é bastante comum na indústria, sendo utilizada não só em sistemas de transferência de custódia, mas também em sistemas de medição para faturamento de clientes pelas companhias distribuidoras de gás natural. Como finalidades básicas desses equipamentos estão a capacidade de efetuar os cálculos de normalização dos valores para as condições de referência e a capacidade de rastrear as medições. Segundo Barateiro (2013) a normalização dos valores é necessária porque todos os fluídos sofrem alterações em seu volume devido a alterações em sua pressão e temperatura enquanto que a questão da rastreabilidade é fundamental para permitir-se a verificação das condições de operação dos sistemas, seja no tocante aos valores das variáveis primárias da medição, seja no tocante aos valores calculados, alarmes e todos os eventos ocorridos que afetaram os valores estimados [4].

Em síntese, a medição de vazão de gases é complexa uma vez que envolve aspectos físicos, químicos, de engenharia e contabilidade. Dessa forma, devido à complexidade de operações e grande capacidade de processamento de dados, historicamente os computadores de vazão têm sido construídos como dispositivos dedicados e exclusivos. Assim, como consequência tem-se no mercado equipamentos com altos custos de aquisição e interfaces proprietárias que muitas vezes impõem problemas básicos de interoperabilidade nas cadeias de automação das estações de gás, uma vez que tais dispositivos usam diferentes protocolos e arquiteturas de rede. Tal realidade, no entanto, tende a mudar através do uso de novas tecnologias presentes na chamada Quarta Revolução Industrial, que elevou a indústria a um novo patamar técnico.

A perspectiva é que no futuro os equipamentos metrológicos de vazão sejam de arquiteturas abertas, com grande poder de integração e capacidade de interpretação de dados. Nesse sentido, Garcia (2004) sugere um novo conceito para computadores de vazão, como sistemas abertos rodando em computadores pessoais [5]. Oliveira (2009) também propõe computadores de vazão baseados em controladores lógicos programáveis [6]. Do ponto de vista da implementação do algoritmo de cálculo da vazão compensada as propostas anteriores podem parecer simples e de fácil implementação, porém quanto aos requisitos de auditoria e registros dos dados existem dúvidas se sistemas abertos de automação são capazes de elevar tais sistemas de medição a esse novo patamar, principalmente nos aspectos estabelecidos pelas NBR 14978:2003.

Assim, realizou-se a análise e implementação de algumas arquiteturas abertas de automação para a medição de vazão de gás. Uma vez que o uso tecnológico de barramentos de campo e instrumentação inteligente elevou a indústria a um novo padrão, investigou-se as barreiras e limitações existentes para que essa revolução aconteça também nos sistemas de medição de vazão de gás natural.

Metodologia

Neste trabalho foram selecionadas metodologias aplicáveis somente aos medidores lineares do tipo turbina, sendo o objetivo principal o estudo e a validação dos algoritmos, bancos de dados e sistemas de segurança para computadores de vazão em sistemas abertos de automação. Assim, a análise e definição de classes mecânicas, classes eletromagnéticas, invólucros, ensaios de conformidades e outros requisitos de construção ficaram fora do escopo desse estudo.

O tipo de conversor implementado, classificado sob o princípio de conversão, é aquele que realiza a conversão em função da pressão, temperatura e desvio da lei dos gases ideais, juntamente com

à integração de vazão. Esse conversor consiste fisicamente de uma calculadora, um transdutor de pressão, um transdutor de temperatura e um sistema de aquisição de dados de vazão. Neste modelo o desvio da lei dos gases ideais é compensado pelo cálculo do fator de compressibilidade utilizando uma equação apropriada como uma função da pressão e da temperatura e também através de propriedades configuráveis do gás e dados de sua composição. Em relação a classificação quanto à existência de correção do volume de gás nas condições de medição o conversor implementado foi aquele que não possui nenhum sistema de correção de volume nas condições de medição, ou seja, não compensa o erro do medidor de gás conforme determinado no certificado de calibração.

O hardware escolhido para o projeto foi o Raspberry Pi (RPi), um microcomputador de pequeno porte, baixo custo e baixo consumo de energia. Neste projeto utilizou-se o modelo Raspberry Pi 3B+ que contém um processador Broadcom BCM2837B0 ARMv7 quad-core de 1,4 GHz, memória RAM de 1 GB, quatro entradas USB, conexão Wi-Fi dual band (2,4 GHz e 5 GHz), Ethernet, Bluetooth 4.2 e HDMI. Para fazer a comunicação de entrada e saída de sinais digitais o RPi possui um conjunto de pinos denominado GPIO (General Purpose Input/Output). No entanto, como a GPIO possibilita apenas a aquisição de sinais digitais, utilizou-se o conversor A/D MCP3008 da MicroChip que possui 8 canais e utiliza a interface SPI do RPi com uma resolução de 10 bits. Na etapa de testes, integrou-se ao Raspberry Pi um Arduino para simulação de valores de pressão e temperatura.

Sobre o sistema operacional utilizou-se a instalação da plataforma Raspbian que constitui uma distribuição Linux Debian embarcada que permite o controle e acesso aos programas e aplicações do Raspberry Pi de uma forma prática e eficiente. Uma vez que o Raspbian não é um sistema operacional de tempo real, para que as leituras dos sinais de pressão, temperatura e composição do gás fossem feitas com o máximo de acuracidade possível utilizou-se a extensão CODESYS Control For Raspberry Pi SL que é um patch para Raspbian que transforma o RPi em um Controlador Lógico Programável (CLP). Essa extensão inclui a interface com a GPIO e para este projeto utilizou-se uma versão gratuita disponibilizada pela 3S-Smart Software que permite a execução sem limitações funcionais por duas horas, sendo a versão completa da extensão comercializada pela Codesys Store por um valor próximo de 50 euros.

Para a implementação da medição de vazão foram utilizados três softwares principais, sendo todos eles plataformas abertas conforme proposta de projeto. Tais plataformas constituem o sistema de persistência de dados do computador projetado que foi estruturado em três camadas, sendo elas a camada de aplicação (utilizando a plataforma CoDeSys), a camada de troca de dados (utilizando a plataforma Node-RED) e a camada de banco de dados (utilizando a plataforma MySQL).

Na plataforma CoDeSys, um ambiente de desenvolvimento para controladores programáveis, utilizou-se predominantemente a linguagem de programação ST (texto estruturado) que é uma linguagem textual de alto nível que possibilita a solução de problemas e operações matemáticas complexas. Neste ambiente programou-se as formulas de cálculos de volume e vazão compensada contidas na publicação ABNT NBR14798:2003 [7]. Projetou-se também toda a arquitetura de aplicação dos parâmetros configuráveis para o computador de vazão planejado. O cálculo do fator de compressibilidade (fator Z) utilizado foi aquele conhecido como AGA8-92DC descrito pela ISO 12213-2:2006 [8] e recomendado pela ABNT NBR 16107:2017 [9].

Para gerenciamento do fluxo de mensagens entre o computador de vazão, banco de dados e as interfaces com os usuários foi utilizada a plataforma Node-RED que consiste em uma ferramenta visual de ambiente de código aberto desenvolvida para implementar, criar e conectar dispositivos de IoT. O protocolo de comunicação escolhido foi o MQTT (Message Queue Telemetry Transport) que

compreende um padrão em formato aberto com suporte nas linguagens de programação mais populares. Sobre esse protocolo, dentro do programa CoDeSys, utilizou-se a biblioteca CoDeSys MQTT Library, que se constitui de um bloco funcional aberto programado em ST de acordo com a IEC 61131-3.

Para o sistema de banco de dados necessário para auditoria e armazenamento de valores históricos e alarmes utilizou-se a plataforma MySQL que consiste em um Sistema Gerenciador de Bancos de Dados (SGBD) relacional aberto. O acesso e segurança dos dados foram assegurados com as próprias ferramentas disponíveis nas plataformas CoDeSys, Node-RED e MySQL, sendo que no CoDeSys utilizou-se o recurso de grupos de usuários através da criação de diferentes grupos operacionais e diferentes direitos de acesso.

No Node-RED a segurança foi implementada através da autenticação baseada em credencial de nome de usuário e senha, sendo essa uma das soluções mais simples em comparação à outras possíveis na plataforma (APIs de administração, tokens, telas de visualização, dentre outros). Já no MySQL utilizou-se um programa auxiliar denominado mysql-secure-installation que permite verificar e corrigir pequenas vulnerabilidades. Além disso, boas práticas de segurança foram adotadas. Nesse sentido, foi instalado e configurado o banco de dados e sistema Node-RED dentro do host local do Raspberry Pi. Sendo o sistema operacional utilizado neste projeto uma distribuição LINUX o próprio firewall do sistema foi ajustado para ser utilizado na segurança de acesso ao computador de vazão.

Por fim, as interfaces gráficas para manuseio e utilização do conversor projetado foram desenvolvidas nas modalidades on-site e off-site. Para o sistema on-site utilizou-se telas gráficas projetadas em um display de LCD de 7 polegadas integrado ao Raspberry Pi. Essas telas foram desenvolvidas no CoDeSys, no mesmo ambiente de programação da lógica de controle, utilizando a aplicação WebVisu, um sistema runtime para CoDeSys desenvolvido em HTML5 que permite ser operado utilizando navegadores web, expandindo assim a aplicação das telas gráficas para smartphones, tablets e estações de trabalho convencionais. Já para o sistema off-site desenvolveu-se telas gráficas no Node-RED utilizando a biblioteca node-red-dashboard.

Resultados e Discussão

O protótipo desenvolvido é ilustrado na Figura 1. Para validação dos algoritmos implementados foram realizados testes de curto prazo baseados na norma NBR 14978:2003 [7] e também nas tabelas de testes da norma ISO 12213-2:2006 [8].



Figura 1: Protótipo do computador de vazão desenvolvido.

O primeiro teste realizado refere-se ao processamento dos sinais recebidos pelos pinos da GPIO do Raspberry Pi. Para a integralização do volume na condição de medição foi verificado se o sistema era capaz de processar todo o sinal recebido, ou seja, se não ocorria perdas dos pulsos na contabilização dos volumes. A tarefa criada dentro do programa para a contagem de pulsos foi definida com tempo de scan igual a 5 ms o que em tese permitiria uma amostragem de 200 pulsos por segundo. Desta forma, utilizou-se um gerador de pulsos calibrado e aplicou-se 1000 pulsos para diferentes frequências de amostragem. Os resultados obtidos são exibidos na Tabela 1.

Tabela 1: Resultado do teste de perda de pulsos.

Pulsos Gerados	Frequência do Gerador de Pulsos	Pulsos Contabilizados pelo Computador de Vazão					Perda de Pulsos
		Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	
1000	1 Hz	1000	1000	1000	1000	1000	Não
1000	10 Hz	1000	1000	1000	1000	1000	Não
1000	20 Hz	1000	1000	1000	1000	1000	Não
1000	40 Hz	1000	999	1000	986	981	Sim
1000	50 Hz	933	877	1000	1000	978	Sim
1000	80 Hz	804	605	759	730	868	Sim
1000	100 Hz	478	627	477	480	470	Sim

Com os resultados verificou-se que para frequências acima de 20 Hz ocorre a perda de pulsos, o que limita a operação do computador projetado para esta faixa. Considerando a utilização de medidores do modelo G1600 que operam em vazão máxima igual a 2500 m³/hora e que tipicamente possuem o fator K usual de baixa frequência igual a 0,1 pulsos/m³, logo a frequência máxima de amostragem desses medidores é aproximadamente 0,07 Hz, o que é pertinente com a faixa de baixa frequência obtida pelo computador de vazão projetado, o que indica uma ampla gama de utilização.

No segundo teste foi realizada a conferência do fator Z calculado com base no algoritmo disponibilizado pela ISO 12213-2. Esse algoritmo, documentado em Fortran, foi modificado para a linguagem ST para execução no RPi. Os dados de composição dos gases utilizados para esses testes foram as composições Gás 1 e Gás 2 da Tabela C.1 (Gas analysis in molar fractions) da ISO 12213-2 [8]. Os fatores esperados e obtidos com o programa executando no CoDeSys são exibidos nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2: Fator Z obtido para a composição Gás 1.

Condições		Gás 1	Z obtido	Erro (%)
Pressão (bar)	Temperatura (°C)			
60,0	-3,150	0,840530	0,841623664675056	-0,13012
60,0	6,850	0,861990	0,862648639232097	-0,07641
60,0	16,850	0,880060	0,880462652751818	-0,04575
60,0	36,850	0,908670	0,908827404576163	-0,01732
60,0	56,850	0,930110	0,930172791491627	-0,00675
120,0	-3,150	0,721330	0,722424988021233	-0,15180
120,0	6,850	0,760250	0,760928865417954	-0,08930
120,0	16,850	0,793170	0,793565827117585	-0,04990
120,0	36,850	0,845150	0,845279714477506	-0,01535
120,0	56,850	0,883830	0,883866421519708	-0,00412

Tabela 3: Fator Z obtido para a composição Gás 2.

Condições		Gás 2	Z obtido	Erro (%)
Pressão (bar)	Temperatura (°C)			
60,0	-3,150	0,833480	0,835046228675519	-0,18791
60,0	6,850	0,855960	0,856910380270522	-0,11103
60,0	16,850	0,874840	0,875428336147037	-0,06725
60,0	36,850	0,904660	0,904896002325578	-0,02609
60,0	56,850	0,926960	0,927054368722662	-0,01018
120,0	-3,150	0,710440	0,711948806975265	-0,21238
120,0	6,850	0,750660	0,751624533739840	-0,12849
120,0	16,850	0,784750	0,785334860440934	-0,07453
120,0	36,850	0,838630	0,838826717723504	-0,02346
120,0	56,850	0,878700	0,878760470037337	-0,00688

Analisando as tabelas percebe-se que os valores calculados ficaram próximos dos valores esperados, com erros percentuais relativos abaixo de 0,3%, o que implica que a plataforma CoDeSys e o código modificado em ST são capazes de calcular o fator Z de forma coerente e exata.

No terceiro teste validou-se a conversão do volume nas condições de fluxo do gás para uma determinada condição-base, sendo a pressão-base igual a 1,01325 bar, temperatura-base igual a 20 °C e z-base igual a 1. Neste teste utilizou-se a amostra Gás 1 da ISO 12213-2 e os valores de 60 bar e 56,85°C de onde se obteve um fator Z igual a 0,93011. Nesta verificação foram emitidos 10 pulsos considerando um fator K igual a 2 m³/pulso. Teoricamente, o resultado do volume compensado deveria ser igual a 1131,12 Nm³, sendo que o valor encontrado foi de 1131,04 Nm³, valor bem próximo do esperado, com erro desprezível de 0,08 Nm³.

Para validação da eficiência do protocolo de comunicação e dos registros realizados no banco de dados criado no MySQL foi realizado o monitoramento dos registros coletados dentro do Node-RED. O resultado dessas inserções foi monitorado através da aplicação phpMyAdmin, conforme a Figura 2, onde é possível identificar os registros gravados dentro da tabela denominada Registro Periódico. O tempo da consulta (escrita) no banco de dados foi relativamente curto e consistente, conforme a Figura 3, tempo esse (tipicamente 0,02 segundos) muito inferior ao período mínimo de amostragem (1 segundo) utilizado usualmente nos computadores de vazão comerciais.

Amostra	Tempo	Pulsos	Pulsos_Acumulados	QNC	QNCA	VNC	QC	QCA	VC	Media_Fator_Z	Media_Pressao	Media_Temperatura
86	2019-12-01-16:21:44	4 Pulsos	20 Pulsos	8.0 m3	40.0 m3	0.0005333334 m3/s	450.521 Nm3	2252.605 Nm3	0.03003474 Nm3/s	0.934083	6.0 MPa	330.0 K
87	2019-12-01-16:21:59	10 Pulsos	30 Pulsos	20.0 m3	60.0 m3	0.0013333333 m3/s	1126.303 Nm3	3378.908 Nm3	0.07508684 Nm3/s	0.934083	6.0 MPa	330.0 K
88	2019-12-01-16:22:14	5 Pulsos	35 Pulsos	10.0 m3	70.0 m3	0.0006666666 m3/s	563.1513 Nm3	3942.059 Nm3	0.03754342 Nm3/s	0.934083	6.0 MPa	330.0 K
89	2019-12-01-16:22:29	14 Pulsos	49 Pulsos	28.0 m3	98.0 m3	0.0018666667 m3/s	1576.824 Nm3	5518.883 Nm3	0.10512158 Nm3/s	0.934083	6.0 MPa	330.0 K

Figura 2:Tabela “Registro Periódico” instanciada no banco de dados.

✓ 1 linha inserida. (A consulta demorou 0.0242 segundos.)
INSERT INTO Registro_Periodico VALUES ('86', '2019-12-01-16:21:44', '4 Pulsos', '20 Pulsos', '1', '15s', '1m45s', '8.0 m3', '40.0 m3', '0.0005333334 m3/s', '6.0 MPa', '330.0 K', '0.934083', '56.31513', '450.521 Nm3', '2252.605 Nm3', '0.03003474 Nm3/s', 'OK')
[Edit inline] [Edita] [Criar código PHP]
✓ 1 linha inserida. (A consulta demorou 0.0129 segundos.)
INSERT INTO Registro_Periodico VALUES ('87', '2019-12-01-16:21:59', '10 Pulsos', '30 Pulsos', '1', '15s', '2m', '20.0 m3', '60.0 m3', '0.0013333333 m3/s', '6.0 MPa', '330.0 K', '0.934083', '56.31513', '1126.303 Nm3', '3378.908 Nm3', '0.07508684 Nm3/s', 'OK')
[Edit inline] [Edita] [Criar código PHP]
✓ 1 linha inserida. (A consulta demorou 0.0091 segundos.)
INSERT INTO Registro_Periodico VALUES ('88', '2019-12-01-16:22:14', '5 Pulsos', '35 Pulsos', '1', '15s', '2m15s', '10.0 m3', '70.0 m3', '0.0006666666 m3/s', '6.0 MPa', '330.0 K', '0.934083', '56.31513', '563.1513 Nm3', '3942.059 Nm3', '0.03754342 Nm3/s', 'OK')
[Edit inline] [Edita] [Criar código PHP]

Figura 3:Tempos de operações de escritas realizadas no banco de dados.

Conclusões

A partir do estudo realizado foi possível comprovar a viabilidade da implementação da medição de vazão para gás natural através de plataformas abertas de automação. Com os resultados obtidos percebe-se que do ponto de vista acadêmico o projeto de software para conversores de volumes é possível a baixos custos, a partir do uso de plataformas abertas e dispositivos compactos, como o Raspberry Pi utilizado neste trabalho. Neste estudo validaram-se apenas alguns algoritmos de cálculo da vazão compensada, sistemas de bancos de dados e ferramentas de segurança para controle de acesso e auditorias. No entanto, o projeto de computadores de vazão é bem mais complexo, sendo importante enfatizar que a validação metrológica, não realizada neste estudo, é talvez a característica mais

importante do projeto, devendo estes equipamentos estar de acordo com o Regulamento Técnico de Medição aprovado no Brasil pela ANP.

O aspecto relevante observado com o trabalho foi a possibilidade de implementação de novas tecnologias dentro da perspectiva de Internet das Coisas para o processo de medição de vazão do gás natural. Conforme enfatizado por Venâncio (2004) a visão sistêmica da medição do gás e o seu rastreamento metrológico passaram a ser uma necessidade da sociedade, visto que o valor econômico dos combustíveis será baseado na disponibilidade e gerenciamento da informação, colocando assim a metrologia como um pilar fundamental para o aumento do padrão de vida das populações [10].

Agradecimentos

Ao professor Carlos Henrique de Moraes Bomfim, do Departamento de Engenharia Eletrônica (DELT) da UFMG, pela orientação e supervisão do trabalho.

Referências Bibliográficas

- [1] SOARES, J. B. Formação do mercado de gás natural no Brasil: impacto de incentivos econômicos na substituição interenergéticos e na cogeração em regime Topping. Tese (Doutorado) — UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- [2] BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil (1988) - Texto consolidado até a Emenda Constitucional n.91, de 2016. 2016.
- [3] RODRIGUES, D. L. V. Aspectos da regulamentação técnica da medição relacionados com a distribuição do gás canalizado. 133 p. Tese (Dissertação de Mestrado) — Universidade Salvador - UNIFACS, Salvador, 2011.
- [4] BARATEIRO, C. E. R. d. B.; SANCHEZ, J. G. Medição de vazão com computadores de vazão - Algoritmos e aplicações na área de óleo e gás. Revista Controle e Instrumentação - n.186, São Paulo, p. 46-53, 2013.
- [5] GARCIA, C.; VAILLANT, O. R. V Encontro Brasileiro dos Profissionais do Mercado de Gás - Desenvolvimento de computador de vazão compensada de gás natural empregando arquitetura aberta. 2004. 12 p.
- [6] OLIVEIRA, D. N.; EREL, D. S.; OLIVEIRA, F. W. S. B. 5o Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - Computador de vazão de gás natural baseado em CLP. 2009. 8p.
- [7] ABNT. NBR 14978:2003 - Medição eletrônica de gás - Computadores de vazão, 2003. 37 p.
- [8] ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO-12213-2: 2006 - Natural gas - Calculation of compression factor - Part 2: Calculation using molar-composition analysis. 2006.
- [9] ABNT. NBR 16107:2017 - Fator de conversão do volume de gás, 2017. 13 p.
- [10] VENANCIO, J. V Encontro Brasileiro dos Profissionais do Mercado de Gás - O poder da normalização e regulamentação no aumento da confiabilidade das medições de gás natural. 2004. 9 p.