

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

CARLOS JOSÉ JORGE MASSUCCI NETTO

**ODORAÇÃO DO GÁS NATURAL DETERMINADA PELA VAZÃO  
INSTANTÂNEA EM *CITY GATES***

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA  
2014

CARLOS JOSÉ JORGE MASSUCCI NETTO

**ODORAÇÃO DO GÁS NATURAL DETERMINADA PELA VAZÃO  
INSTANTÂNEA EM *CITY GATES***

Monografia de Especialização, apresentado ao Curso de Especialização em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. MSc. Simone Massulini Acosta

CURITIBA  
2014

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus por todos os momentos e por tornar tudo isso possível.

À minha orientadora Simone Massulini Acosta que prestou apoio sem medir esforços.

À minha namorada Nicole, que será sempre uma inspiração. Agradeço pelo amor incondicional, pelo carinho diário e pela paciência eterna de me acompanhar.

Aos meus pais Liberato e Sandra e ao meu irmão Giovane pelo apoio, amor e esforços que dedicam a mim. Sou muito grato à minha família.

Aos colegas da Compagas: Bruno, Hécio, Edgard, Saul e Glaucio, que colaboraram imensamente para a execução desse trabalho.

À Compagas pelo apoio ao projeto e por ceder a infraestrutura para os testes e para a aplicação.

“Nós nos encontramos no limiar de uma era extraordinária, se nos mostrarmos capacitados coletivamente a recebê-la com a dignidade devida. Se os países mais cultos do globo puderem suportar a pressão dos seus próprios problemas, sem entrar em choques destrutivos, como, por exemplo: guerra de extermínio, que deixará consequências imprevisíveis para nós todos no planeta, então veremos uma era extraordinariamente maravilhosa para o homem, porque a própria automação nos está dizendo que vamos ser aliviados ou quase que aposentados do trabalho mais rude no trato com o planeta, para a educação da nossa vida mental, através de informações sobre o Universo com proveito enorme, proveito incalculável para benefício da humanidade.”

Chico Xavier

## RESUMO

MASSUCCI NETTO, Carlos José Jorge. **Odoração do gás natural determinada pela vazão instantânea em *City Gates***. 2014. 52 f. Monografia (Curso de Especialização em Automação Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

A injeção de odorante no gás é um processo presente na distribuição do gás natural tendo como objetivo a detecção de pequenas concentrações de gás pela maior parte da população, servindo de alerta para possíveis riscos de vazamentos. Tal injeção é feita proporcionalmente ao tempo nos dois *City Gates* da Compagas. O presente trabalho tem a finalidade de apresentar as informações necessárias, testes, análises e resultados para estabelecer a odoração do gás natural determinada pela vazão instantânea no *City Gate* do município de Araucária. O resultado desse trabalho é um sistema de comunicação com interface eletrônica entre o corretor de vazão e o controlador do sistema de injeção de odorante. Essa aplicação proporcionou uma concentração de odorante no gás muito mais estável afetando positivamente a qualidade do gás.

**Palavras chave:** Gás natural. Odoração. Automação.

## **ABSTRACT**

MASSUCCI NETTO, Carlos José Jorge. **Natural gas odorization determined through the instant flow in City Gates**. 2014. 52 f. Monografia (Curso de Especialização em Automação Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

The injection of odorant in the gas is a process in the distribution of natural gas which aims to the detection of small gas concentrations for most of the population, warning of possible risks of leaks. In the two Compagas' City Gates, this injection is made proportionally to time. This paper is intended to present the information, tests, analyzes and results to establish the natural gas odorization through the instant flow at City gate in the city of Araucária. The result of this work is a communication system whit an electronic interface between the flow corrector and the odorant injection system controller. This application provided a more stable odorant concentration in the gas positively affecting the quality of the gas.

**Keywords:** Natural Gas. Odorization. Automation.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Medidor tipo turbina.....  | 18 |
| Figura 2 – Corretor de vazão modelo Mini-AT.....  | 21 |
| Figura 3 – <i>City Gate</i> de Araucária.....   | 22 |
| Figura 4 – Controlador N-300G instalado no <i>City Gate</i> de Araucária.....   | 23 |
| Figura 5 – Bomba modelo 700 e verômetro modelo VM-1100.....   | 24 |
| Figura 6 – Corretor de vazão Mini-AT em uma Estação de Regulagem e Redução de Pressão. ....   | 27 |
| Figura 7 – Circuito eletrônico do Mini-AT. ....   | 30 |
| Figura 8 – Simulação de pulsos identificando os intervalos de análise necessários para a comunicação direta entre o corretor de vazão e o controlador N-300G..... | 31 |
| Figura 9 – Especificação do gerador de pulsos do medidor em questão. ....   | 32 |
| Figura 10 – Osciloscópio mostrando sinal pulsado do corretor de vazão. ....   | 34 |
| Figura 11 – Equipamentos utilizados no teste.....   | 35 |
| Figura 12 – Resposta do controlador para pulsos com tensões menores que 4 V (0,4%). ....  | 36 |
| Figura 13 – Sinal gerado pelo gerador de funções.....   | 36 |
| Figura 14 – Resposta do controlador N-200 ao sinal aplicado.....  | 37 |
| Figura 15 – Representação dos sinais envolvidos. ....   | 38 |
| Figura 16 – Representação das tempos dos sinais eletrônicos. ....   | 39 |
| Figura 17 – Fluxograma de programação do microcontrolador.....  | 41 |
| Figura 18 – Corretor de vazão indicando a vazão instantânea. ....   | 43 |
| Figura 19 – Controlador N-300G indicando o sinal de vazão de 80,9%.....   | 44 |
| Figura 20 – Gráfico dos resultados do teste em campo. ....  | 46 |
| Figura 21 – Ligação do sinal pulsado nos terminais do controlador N-300G. ....  | 46 |
| Figura 22 – Sistema eletrônico operando.....  | 47 |
| Figura 23 – Sistema de alimentação e interface eletrônica instalada.....  | 48 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Quantidades de odorante utilizadas e concentrações médias no <i>City Gate</i> de Araucária em 2013. .... | 25 |
| Tabela 2 – Quantidades de odorante utilizadas e concentrações médias no <i>City Gate</i> de Araucária em 2014. .... | 25 |
| Tabela 3 – Resultados do teste 5.....   | 42 |
| Tabela 4 – Resultados do teste em campo. ....   | 45 |
| Tabela 5 – Totalização mensal da concentração de odorante no gás natural do <i>City Gate</i> de Araucária. ....     | 48 |



## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>9</b>  |
| 1.1 TEMA .....   | 9         |
| 1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO .....  | 10        |
| 1.3 PROBLEMA.....  | 10        |
| 1.4 OBJETIVOS.....   | 11        |
| 1.4.1 Objetivo Geral.....  | 11        |
| 1.4.2 Objetivos Específicos.....   | 11        |
| 1.5 JUSTIFICATIVA.....   | 11        |
| 1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....  | 12        |
| 1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO .....  | 13        |
| <b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....   | <b>14</b> |
| 2.1 GÁS NATURAL.....   | 14        |
| 2.1.1 Composição.....  | 15        |
| 2.1.2 Odoração .....   | 15        |
| 2.1.3 Transporte .....   | 16        |
| 2.1.4 Distribuição.....  | 16        |
| 2.2 MEDIÇÃO DE VAZÃO DE GÁS NATURAL.....   | 17        |
| 2.2.1 Medidores de Gás Natural .....   | 17        |
| 2.2.2 Relatório AGA 8 sobre Gás Natural.....   | 18        |
| 2.2.3 Unidades de Conversão de Volume de Gás.....  | 19        |
| 2.2.3.1 Conversores de Volume de Gás Tipo PTZ.....   | 20        |
| 2.2.3.2 Computadores de Vazão.....   | 21        |
| <b>3 DESENVOLVIMENTO</b> .....   | <b>22</b> |
| 3.1 SISTEMA DE INJEÇÃO DE ODORANTE .....   | 22        |
| 3.1.1 Análise do Sistema Existente .....   | 25        |
| 3.1.2 Sinal de Entrada de Pulsos do Controlador N-300G .....   | 26        |
| 3.2 CORRETOR DE VAZÃO .....  | 26        |
| 3.2.1 Descrição Básica.....  | 27        |
| 3.2.2 Sinais Digitais do Corretor de Vazão .....   | 29        |
| 3.3 COMUNICAÇÃO ENTRE O CORRETOR DE VAZÃO E O CONTROLADOR<br>DO SISTEMA DE INJEÇÃO DE ODORANTE ..... | 31        |
| <b>4 TESTES E ANÁLISES DOS RESULTADOS</b> .....  | <b>33</b> |
| 4.1 TESTES EM BANCADA .....  | 33        |
| 4.1.1 Teste 1 .....  | 33        |
| 4.1.2 Teste 2 .....  | 35        |
| 4.1.3 Teste 3 .....  | 37        |
| 4.1.4 Teste 4 .....  | 37        |
| 4.1.5 Interface Eletrônica.....  | 38        |
| 4.1.6 Teste 5 .....  | 42        |
| 4.2 TESTE EM CAMPO.....  | 43        |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....  | <b>49</b> |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....   | <b>51</b> |

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 TEMA

Nos últimos quinze anos o gás natural vem ocupando um papel de destaque na indústria e grande comércio no Brasil, face as suas inigualáveis vantagens ambientais e a eficácia energética que é obtida com a sua utilização (MONTEIRO, 2010).

O gás natural é basicamente correspondente à porção do petróleo que existe na fase gasosa, ou em solução no óleo, nas condições do reservatório e que permanece no estado gasoso nas condições atmosféricas de pressão e temperatura (FOSSA, 2010).

No Brasil a regulamentação define como cada empresa pode atuar no mercado de gás, não sendo este totalmente aberto a qualquer empresa. No estado do Paraná a Companhia Paranaense de Gás, Compagas, tem a concessão do estado para a distribuição do gás natural. Todo gás natural distribuído no Paraná é proveniente do gasoduto Brasil-Bolívia e é entregue em estações de recebimento de gás denominadas *City Gates* (MONTEIRO, 2010).

Um ponto essencial no que tange a utilização do gás natural é a sua odoração, uma vez que a sua presença misturada ao ar ambiente deve ser facilmente detectável por qualquer pessoa, antes que a mistura alcance níveis potencialmente perigosos (ABNT, 2008c).

A intensidade do odor de um gás combustível é uma sensação. Sendo assim, não é uma grandeza mensurável, porém existem procedimentos que permitem atribuir uma escala de valor ao impacto do odor recebido por uma pessoa. Os compostos mais utilizados para odoração no Brasil são as mercaptanas, geralmente usadas na forma de uma mistura. A composição empregada pela maioria das distribuidoras é constituída de três mercaptanas, com predominância da tercbutilmercaptana (FOSSA, 2010).

O tema desse trabalho é a odoração em sistemas de distribuição de gás natural, onde é desenvolvida uma melhoria em um sistema de odoração da

Compagas com relação a comunicação do sistema de odoração com o medidor de vazão do *City Gate*.

O projeto engloba a descrição geral dos equipamentos envolvidos, incluindo suas características específicas e suas funções, e a análise dos resultados operacionais e econômicos obtidos com a implementação.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Esse projeto abrange apenas o *City Gate* localizado na cidade de Araucária no Paraná, mas esse pode ser facilmente aplicado a outros *City Gates* existentes no Paraná ou ainda em outros estados.

## 1.3 PROBLEMA

Desde o início da operação dos *City Gates*, a odoração é feita a partir de um sistema que injeta mercaptana na estação de recebimento de gás natural. No caso do *City Gate* de Araucária a injeção de uma quantidade fixa de mercaptana é feita a cada 10 segundos.

No entanto, como esse *City Gate* fornece gás para muitos clientes que possuem um consumo variável, a vazão do *City Gate* varia a todo instante. Com uma quantidade fixa de mercaptana para uma vazão em declínio de gás natural a concentração de mercaptana aumenta.

Isso significa que no sistema existente a concentração de odorante no gás é inversamente proporcional à vazão instantânea do *City Gate*. Com isso, a concentração da mercaptana por metro cúbico de gás nas condições de referência varia com a vazão instantânea, quando na realidade a concentração de odorante poderia ser fixa.

A quantidade de mercaptana a ser inserida é calculada com base na vazão média do período analisado, considerando-se uma margem de segurança, de forma que a quantidade mínima necessária seja sempre alcançada. Com isso, durante os períodos de alta vazão, a concentração de mercaptana no gás natural está de acordo com a quantidade pretendida, pois a quantidade inserida é definida para

esses períodos. Porém, assim que a vazão diminui existe um excesso de mercaptana adicionada no gás.

O problema central dessa monografia é o excesso de mercaptana no gás que pode ocorrer durante os períodos de menor vazão no sistema. As consequências desse excesso são apresentadas no item 1.5.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo Geral

Estabelecer a odoração do gás natural de acordo com a vazão instantânea medida no *City Gate* da Compagas localizado no município de Araucária, no Paraná.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Analisar o sistema de odoração existente;
- Analisar a instrumentação envolvida nesse sistema;
- Realizar testes de comunicação em bancada com o equipamento controlador N-200 e identificar os parâmetros de comunicação;
- Determinar as características do sinal a ser enviado pelo corretor de vazão ao controlador N-300G;
- Obter o sinal de vazão instantânea do corretor de vazão;
- Configurar o controlador N-300G de acordo com o sinal do corretor de vazão;
- Realizar comunicação entre o corretor de vazão e o controlador N-300G em campo.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

Durante certos períodos, a odoração do gás natural é realizada com uma quantidade em excesso de mercaptana. Esse excesso não caracteriza o gás como

fora de especificação pois o limite estabelecido pela norma NBR 15614 é muito maior e o gás entregue atualmente está dentro das normas regulamentadoras (ABNT, 2008b).

De forma geral, existem quatro justificativas para esse trabalho. Duas delas são de ordem comercial. Apesar de imperceptível para a maioria dos clientes, o excesso de mercaptana no gás pode diminuir a vida útil de filtros específicos de indústrias que utilizam o gás natural em processos catalíticos, o que acarreta custos ao cliente. Existem situações em que, sob certas condições, o excesso de mercaptana no gás reage com o cobre das tubulações industriais formando um resíduo sólido pulverizado que entope filtros e impede a continuidade da operação do processo.

Outra justificativa é de ordem econômica. A mercaptana adquirida na Compagas tem um alto custo. Com a diminuição da quantidade injetada na rede de gás natural tem-se um ganho econômico para a companhia.

E, finalmente, a vantagem operacional de que as trocas do tanque de mercaptana ocorrerão com menor frequência.

## 1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização do objetivo proposto foi de fundamental importância conhecer detalhadamente os componentes do sistema. Portanto, é necessária uma pesquisa sobre o sistema e sobre as configurações do mesmo. Devido ao grau de especificidade desse estudo, a fundamentação possui como base principalmente o manual do sistema. Além do conhecimento do sistema é necessário, também, conhecer detalhes específicos dos equipamentos utilizados.

Um dos pontos centrais dessa aplicação é o sinal transmitido do equipamento de medição para o controlador. O controlador do sistema de odoração é um controlador modelo N-300G. Porém, a Compagas possui para testes em bancada apenas um controlador modelo N-200. Os testes foram feitos no N-200 e com o conhecimento sobre as diferenças entre eles, os resultados são aplicados no N-300G do sistema de odoração em campo. O objetivo desses testes em bancada é definir os parâmetros de frequência que são utilizados para interpretar o sinal no N-200 e, então, replicá-los ao N-300G.

Com esses parâmetros definidos, obteve-se o sinal de vazão do medidor. Esse sinal é enviado pelo corretor de vazão, equipamento que corrige o volume medido de acordo com as condições de referência. Além da aquisição do sinal é necessário interpretá-lo e configurar o corretor de vazão para que esteja dentro dos parâmetros do N-300G.

Após estabelecida a comunicação realizou-se a configuração do N-300G de forma que a injeção de mercaptana esteja de acordo com o sinal enviado pelo corretor de vazão.

Segundo os critérios de Marconi e Lakatos (2010) esse trabalho é uma pesquisa científica aplicada, por tratar da aplicação de um estudo técnico. Em relação aos objetivos específicos o trabalho é explicativo fundamentalmente de campo.

## 1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

No Capítulo 1 são apresentados o tema, as delimitações do estudo, o problema, os objetivos, as justificativas, os procedimentos metodológicos, as indicações para o embasamento teórico e a estrutura geral do trabalho.

No Capítulo 2 são apresentados dados relevantes sobre o gás natural, sobre a odoração e sobre os equipamentos envolvidos no projeto.

No Capítulo 3 é apresentado o desenvolvimento e como cada objetivo específico foi alcançado, procedimentos utilizados e resultados parciais obtidos.

No Capítulo 4 são apresentados os testes realizados, resultados obtidos e outras análises tendo como base a problemática apresentada.

O Capítulo 5 apresenta as considerações finais, onde é discutido de forma geral as vantagens obtidas, possibilidades futuras de continuidade dos trabalhos e as conclusões obtidas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 GÁS NATURAL

O gás natural é um combustível fóssil fortemente atrativo do ponto de vista ecológico e que se encontra na natureza normalmente em reservatórios profundos no subsolo, associado ou não ao petróleo (ABREU; MARTINEZ, 2003).

De acordo com a Lei nº. 9.478, de 6 de agosto de 1997, denominada Lei do Petróleo: “*Gás natural é a porção do petróleo que existe na fase gasosa ou em solução no óleo nas condições originais do reservatório, e que permaneçam no estado gasoso nas condições atmosféricas de pressão e temperatura*” (BRASIL, 1997).

Tal como o petróleo, o gás natural resulta da degradação da matéria orgânica de forma anaeróbica (fora do contato com o ar), matéria orgânica esta oriunda de quantidades extraordinárias de micro-organismos que nos tempos pré-históricos se acumulavam nas águas litorâneas dos mares. Devido aos movimentos de acomodação da crosta terrestre esta matéria orgânica foi soterrada e, por isto, sua degradação se deu normalmente fora do contato com o ar, a altas temperaturas e submetida a fortes pressões (ABREU; MARTINEZ, 2003).

A formação de petróleo e gás natural continua a ocorrer na natureza. Porém, devido ao fato de que as movimentações da crosta terrestre atualmente são muito escassas, a velocidade com que novas quantidades são geradas é desprezível. Por esta razão, diz-se que as acumulações destes produtos são não renováveis (ABREU; MARTINEZ, 2003).

Na realidade, todos os combustíveis fósseis são formados devido ao acúmulo da energia solar que incidiu sobre a superfície terrestre e foram transformados em energia química pela ação dos organismos vivos (em processos metabólicos, tais como a fotossíntese), através das eras geológicas em centenas de milhões de anos. Ainda que o rendimento energético dos processos biológicos seja normalmente baixo, tal acumulação de energia foi realizada em tempo extremamente longo. Sua reprodução é difícil de ser efetuada industrialmente de forma econômica (ABREU; MARTINEZ, 2003).

A composição do gás natural pode variar de campo para campo, de acordo com o tipo de matéria orgânica que lhe deu origem, os processos naturais a que foi submetido, o processamento em unidades industriais, dentre outros fatores. Sua composição consiste predominantemente de metano e quantidades menores de etano, propano e outros hidrocarbonetos de maior peso molecular (VIEIRA et al., 2005).

### 2.1.1 Composição

O gás natural é uma mistura diversificada de hidrocarbonetos. O Quadro 1 apresenta a sua composição típica.

| <b>Composto químico</b>              | <b>% Volume</b> |
|--------------------------------------|-----------------|
| Metano                               | 89,0            |
| Etano                                | 6,0             |
| Propano                              | 1,8             |
| Butano, pentano, hexano e superiores | 1,0             |
| CO <sub>2</sub>                      | 1,5             |
| N <sub>2</sub>                       | 0,7             |

**Quadro 1 – Composição típica do gás natural.**  
**Fonte: MONTEIRO, 2010**

### 2.1.2 Odoração

O gás natural é odorado artificialmente em virtude da necessidade de segurança e identificação do produto. Assim, a sua presença pode ser facilmente detectável por qualquer pessoa, antes que a mistura alcance níveis potencialmente perigosos.

A intensidade do odor de um gás combustível é uma sensação. Sendo assim, não é uma grandeza mensurável. Porém, existem procedimentos que permitem atribuir uma escala de valor ao impacto do odor recebido por uma pessoa. Para realizar a odoração utilizam-se misturas de mercaptanas constituídas de componentes tais como o tercbutilmercaptana, o isopropilmercaptana, o N-propilmercaptana etc. (MONTEIRO, 2010).



### 2.1.3 Transporte

O transporte do gás natural gasoso é feito por meio de dutos ou em alguns casos comprimido em cilindros de alta pressão. No estado líquido o gás é transportado por meio de navios, barcaças e caminhões criogênicos.

O gasoduto é uma rede de tubulações que leva o gás natural das fontes produtoras até os centros consumidores. O gasoduto Bolívia-Brasil (Gasbol), por exemplo, transporta gás proveniente da Bolívia para atender os estados de Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (MONTEIRO, 2010).

O gasoduto transporta grandes volumes de gás, possui tubulações de diâmetro elevado, opera em alta pressão e somente se aproxima das cidades para entregar o gás às companhias distribuidoras, constituindo um sistema integrado de transporte de gás (MONTEIRO, 2010).

### 2.1.4 Distribuição

O gás natural é comercializado por meio de contratos de fornecimento com as companhias distribuidoras de cada estado, detentoras da concessão da distribuição. A transferência de propriedade do gás natural da transportadora para a concessionária é feita nas estações de transferência de custódia (*City Gates*), que são instalações destinadas a regular a pressão e efetuar a medição do volume de gás entregue à concessionária. É nesse momento que é feita a odoração.

Os principais componentes de um sistema de distribuição de gás são (MONTEIRO, 2010):

- Redes de transporte: são redes operadas pelas concessionárias, destinadas a transportar o gás natural recebido nos *City Gates* até as Estações de Regulagem de Pressão. As redes de transporte trabalham com pressões de, por exemplo, 17 bar e 35 bar.
- Estações de Regulagem de Pressão (ERP): são instalações destinadas a diminuir a pressão do gás natural vindo das redes de transporte e enviá-lo às redes de distribuição com pressões menores.

- Redes de distribuição: são redes de gás geralmente urbanas, que interligam as ERPs com os consumidores. Elas transportam vazões menores de gás natural a menores pressões e com tubulações de diâmetros menores que a do gasoduto.

## 2.2 MEDIÇÃO DE VAZÃO DE GÁS NATURAL

A comercialização e a regulamentação do gás natural são feitas basicamente em unidades de volume referidas a uma condição base de pressão, temperatura e valor calorífico, estabelecendo, dessa forma, uma referência de valor energético para o metro cúbico do gás nas condições base.

O medidor de gás natural típico, no entanto, totaliza somente o volume do gás nas condições existentes no local de medição. Sendo o gás natural um fluido compressível, torna-se necessária não somente estabelecer as condições base de pressão, temperatura e poder calorífico para possibilitar sua medição e tarifação, mas também a adoção de métodos aceitos para realizar a conversão da medição do volume obtido na condição de operação no local para a condição base (MONTEIRO, 2010).

A condição base utilizada na Compagas é 1 atm e 20°C e para questões de transação, um metro cúbico de gás possui um poder calorífico superior de 9.400 kcal.

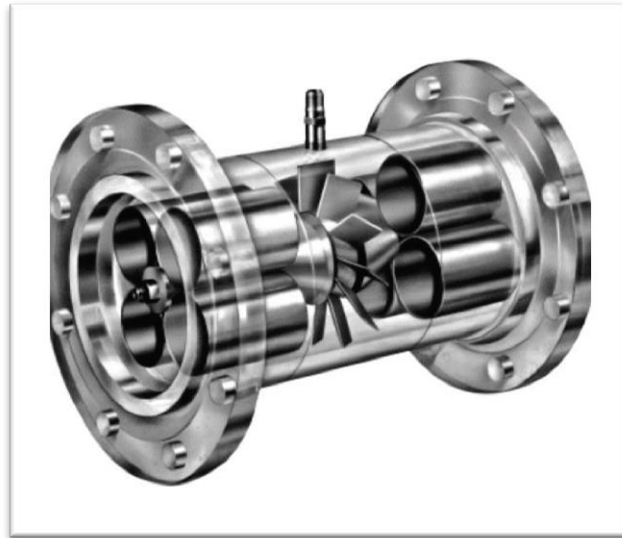
### 2.2.1 Medidores de Gás Natural

Os medidores mais aplicados na indústria e na distribuição de gás natural são as placas de orifício, o medidor tipo diafragma, o medidor tipo turbina, o medidor tipo rotativo, o medidor tipo ultrassom e o medidor tipo coriólis (MONTEIRO, 2010).

Na Compagas são utilizados medidores tipo rotativo e tipo turbina. Nos *City Gates*, devido à alta vazão, utiliza-se o medidor tipo turbina.

O medidor tipo turbina é geralmente usado para medições de vazão em indústrias. Tratam-se, essencialmente, de medidores de velocidade que possuem no seu interior um rotor projetado com uma configuração aerodinâmica, cuja rotação é

proporcional à velocidade do gás que flui no medidor. Um mecanismo de relojoaria é conectado ao rotor por meio de um redutor e de um sistema de transmissão magnética, permitindo assim a totalização do volume do gás (MONTEIRO, 2010). A Figura 1 apresenta um medidor tipo turbina.



**Figura 1 – Medidor tipo turbina.**  
**Fonte: VILLAJULCA, 2014**

### 2.2.2 Relatório AGA 8 sobre Gás Natural

O relatório AGA 8 é tido como uma referência extremamente importante na determinação de compressibilidade do gás natural (AGA, 1988).

O cálculo do fator de compressibilidade do gás natural, seguindo o método descrito no relatório AGA 8, é usado para as medições de vazão volumétrica ou mássica. Existem computadores de vazão, como apresentado na seção 2.2.3, que efetuam o cálculo em tempo real. Quando a composição do gás não muda apreciavelmente, os sinais de entrada necessários são somente pressão e temperatura do gás. Entretanto, é necessário que a composição do gás seja informada caso essa mude contínua ou frequentemente (DELMEÉ, 2003).

A incerteza do resultado da aplicação do método descrito no relatório AGA 8 em relação a valores experimentais é inferior a 0,1% numa região de pressões até 100 bar e de temperaturas entre -50°C e 70°C, passando progressivamente para valores maiores, atingindo 1% para pressões da ordem de 700 bar e temperaturas

na faixa de  $-130^{\circ}\text{C}$  a  $200^{\circ}\text{C}$ . A aplicação completa desse método é complexa e somente pode ser feita por computador (DELMEÉ, 2003).

### 2.2.3 Unidades de Conversão de Volume de Gás

Segundo a *American Gas Association* (AGA, 1988) os conversores de volume são usados desde os anos 1920 para a conversão do volume de gás na condição de medição para a condição base. Inicialmente eram utilizadas cartas gráficas para registrar as pressões ao longo do tempo e possibilitar a conversão do volume de gás medido em função da pressão.

Na década de 1950 surgiram os conversores de volume mecânicos que eram basicamente instrumentos providos de totalizadores para indicação do volume na condição base e que realizavam a conversão do volume do gás em função das variações de pressão e temperatura. Posteriormente, ocorreram melhorias nesses instrumentos tais como a possibilidade de conversão da compressibilidade na condição de medição para a compressibilidade na condição de referência e a incorporação de geradores de pulso para a sua conexão com sistemas de telemetria.

No início dos anos 1970 iniciou-se a utilização de sistemas de automação na indústria. No entanto, naquela época, ainda não era viável economicamente a utilização da eletrônica para aplicações inerentes à conversão de volume de gás. Com o passar do tempo e os avanços na área de eletrônica, essa situação mudou e, atualmente, os conversores de volume microprocessados são os únicos utilizados.

Embora não definidas claramente nas normas internacionais, existem basicamente duas modalidades de unidade conversoras de volume:

- Conversores de volume com base na Pressão, Temperatura e Compressibilidade (PTZ): são instrumentos microprocessados que convertem o volume de gás diretamente às condições base, inspirados nos antigos conversores mecânicos usados nos Estados Unidos.
- Computadores de vazão: são instrumentos típicos de automação utilizados em sistemas de medição de empresas de gás, tais como o uso conjuminado a placas de orifício e medidores tipo ultrassom, utilizados para grandes vazões.

### 2.2.3.1 Conversores de Volume de Gás Tipo PTZ

Os conversores de volume de gás tipo PTZ são basicamente *dataloggers*, versáteis e compactos, geralmente alimentados por bateria, que utilizam os pulsos gerados pelos medidores volumétricos e os sinais de pressão e temperatura oriundos dos respectivos transdutores dessas grandezas. Esses aparelhos realizam a conversão do volume de gás para as condições base, levando em consideração a compressibilidade, o que é realizado por meio da inserção de grandezas relacionadas a propriedades físicas do gás em questão como parâmetros de configuração do aparelho (MONTEIRO, 2010).

O cálculo do fator de conversão (FC) de volume é feito pela aplicação das leis de Boyle e Gay-Lussac, além das metodologias para a determinação do fator de compressibilidade presentes no relatório AGA 8. O fator de conversão pode ser obtido pela expressão (1) (MONTEIRO, 2010; AGA, 1998).

$$FC = \frac{V_b}{V} = \frac{P}{P_b} \times \frac{T_b}{T} \times \frac{Z_b}{Z} \quad (1)$$

onde:

- FC é o fator de conversão;
- $V_b$  é o volume na condição base;
- $V$  é o volume na condição de operação;
- $T_b$  é a temperatura absoluta na condição base;
- $T$  é a temperatura absoluta na condição de operação;
- $P_b$  é a pressão absoluta na condição base;
- $P$  é a pressão absoluta na condição de operação.

Os conversores de volume de gás do tipo PTZ inicialmente processam incrementos de volume de gás ( $V$ ) oriundos da totalização de pulsos de medidores e, posteriormente, realizam a conversão de volume, levando em consideração as variações de pressão, temperatura e compressibilidade para a obtenção do volume na condição base ( $V_b$ ) (MONTEIRO, 2010).

Um modelo de conversor de volume de gás, também chamado de corretor de vazão, é o modelo Mini-AT apresentado na Figura 2.



**Figura 2 – Corretor de vazão modelo Mini-AT.  
Fonte: MERCURY INSTRUMENTS, 2008**

### 2.2.3.2 Computadores de Vazão

Segundo a NBR 14978 (ABNT, 2008a), os computadores de vazão são processadores associados a uma unidade de memória que recebem sinais elétricos que representam variáveis do sistema de medição de gás (pressão estática, pressão diferencial, temperatura, pulsos etc.) e que executam cálculos com o objetivo de disponibilizar vazões e totalizações.

Esses cálculos são elaborados por meio de algoritmos, tanto para o cálculo de medição por meio de diferencial de pressão (placa de orifício) como para medidores lineares (turbina e ultrassom). Esses algoritmos preconizam sistemáticas de amostragem, metodologias de cálculo e técnicas de estabelecimento de valores médios representativos e integram variáveis que facultam o cálculo das vazões e volumes transacionados de gás. Os computadores de vazão incorporam todas as funções dos conversores PTZ e outras mais (ABNT, 2008a).

### 3 DESENVOLVIMENTO

Neste trabalho é realizada a comunicação entre dois equipamentos: o corretor de vazão, também chamado de eletro-corretor, e o controlador do sistema de injeção de odorante.

#### 3.1 SISTEMA DE INJEÇÃO DE ODORANTE

No *City Gate* de Araucária, como também no de Campo Largo, a Compagas possui um sistema de injeção de odorante que é o responsável por bombear o odorante de tanques até a tubulação, que opera com a pressão de 35 kgf/cm<sup>2</sup>. O modelo desse sistema é o 7300G da *YZ Systems* e a operação desse sistema utiliza três componentes básicos: a bomba modelo 700, o verômetro modelo VM-1100 e o controlador modelo N-300G (EDC, 2001).

A Figura 3 apresenta uma foto do *City Gate* da Compagas em Araucária, onde o equipamento azul é o medidor e, ao lado, o equipamento branco é o corretor de vazão. A Figura 4 apresenta o controlador modelo N-300G instalado nesse *City Gate*.



Figura 3 – *City Gate* de Araucária.  
Fonte: A autoria própria



**Figura 4 – Controlador N-300G instalado no City Gate de Araucária.**

**Fonte: Autoria própria**

Durante a operação normal do sistema, a bomba injeta uma quantidade exata de odorante a uma velocidade determinada pelo controlador. A quantidade de odorante injetada por deslocamento da bomba é fixada pelo uso de um espaçador na montagem da bomba de atuação. A velocidade na qual a bomba atua é determinada pelo controlador N-300G.

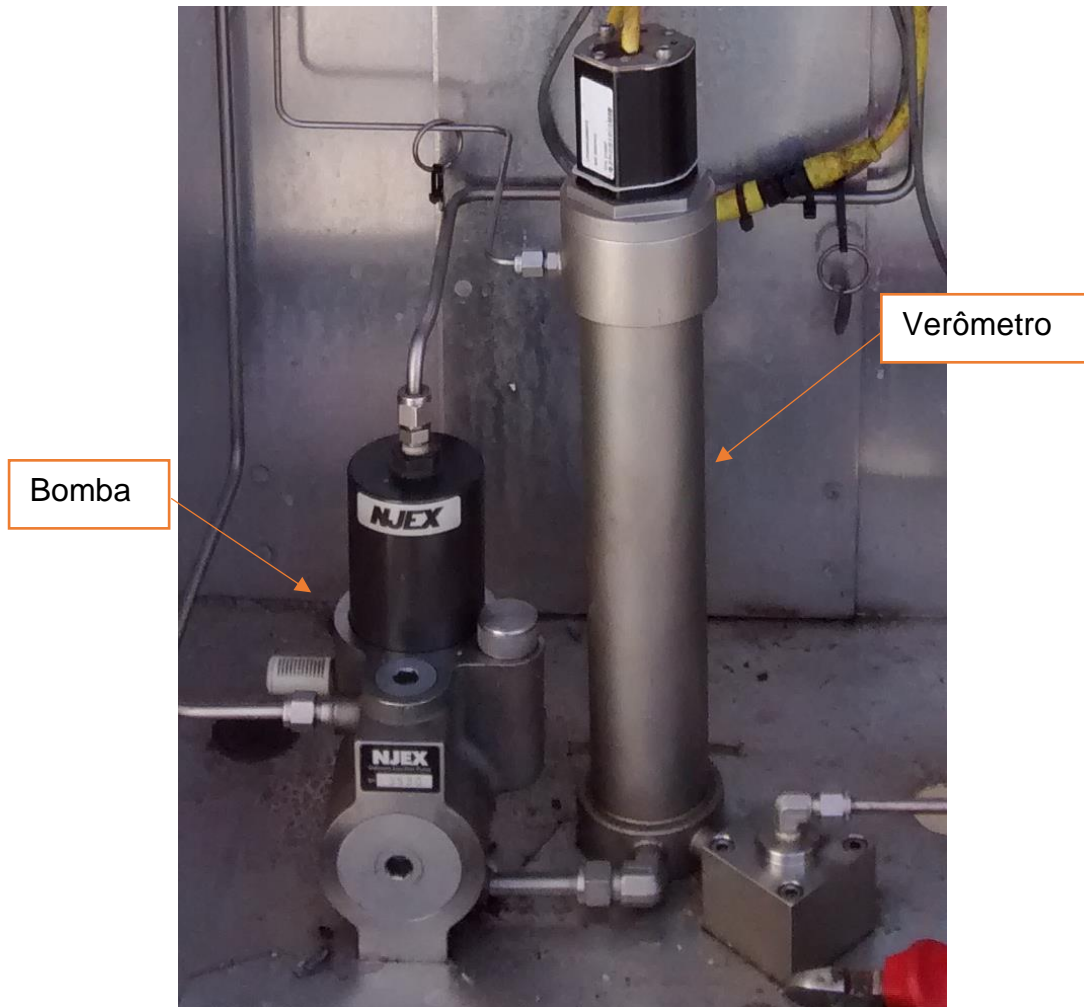
O verômetro funciona como medidor de nível e temperatura. O controlador N-300G utiliza esses sinais para determinar a quantidade de odorante que foi injetada no gás pela bomba modelo 700, assim como o nível do odorante contido no verômetro. Uma vez que o verômetro esteja cheio, o controlador N-300G fecha a válvula de alimentação do mesmo.

O controlador N-300G permite que o sistema 7300G opere tanto em modo baseado no tempo como em modo proporcional à vazão. No modo de operação



baseado no tempo, o controlador N-300G aciona a bomba a um intervalo fixo de tempo pré-fixado pelo operador.

A Figura 5 apresenta a bomba modelo 700 e o verômetro modelo VM-1100 instalados no *City Gate* da Compagas em Araucária.



**Figura 5 – Bomba modelo 700 e verômetro modelo VM-1100.**  
Fonte: Autoria própria

No modo de operação proporcional à vazão, o controlador N-300G utiliza como sinal de entrada a vazão de gás e algumas premissas para calcular o tempo entre os deslocamentos da bomba. Estas premissas incluem a velocidade de injeção do odorante ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), o deslocamento da bomba ( $\text{cm}^3/\text{deslocamento}$ ) e a densidade do odorante ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ). O sinal de entrada da vazão é fornecido pelo corretor de vazão.

### 3.1.1 Análise do Sistema Existente

Conforme descrito no item 3.1, é possível configurar o sistema de injeção para trabalhar proporcionalmente ao tempo. Essa era a forma com que o sistema estava operando antes da realização desse trabalho.

O número de deslocamentos da bomba a cada minuto era calculado de acordo com a vazão média do mês, para garantir uma concentração de 11 mg de odorante por metro cúbico de gás em momentos de altas vazões.

A Tabela 1 e a Tabela 2 apresentam os valores mensais de volumes medidos nas condições de referência para o ano de 2013 e 2014 (de janeiro a setembro).

**Tabela 1 – Quantidades de odorante utilizadas e concentrações médias no City Gate de Araucária em 2013.**

| Mês       | Consumo de gás (m <sup>3</sup> ) | Odorante consumido (kg) | Índice de odoração (mg/m <sup>3</sup> ) | Média de odorante (kg/dia) |
|-----------|----------------------------------|-------------------------|---|----------------------------|
| Janeiro   | 13.918.282                       | 181,97                  | 13,07                                   | 5,87                       |
| Fevereiro | 20.053.343                       | 208,88                  | 10,42                                   | 7,46                       |
| Março     | 18.102.969                       | 225,37                  | 12,45                                   | 7,27                       |
| Abril     | 18.356.890                       | 202,50                  | 11,03                                   | 6,75                       |
| Maio      | 20.070.602                       | 203,36                  | 10,13                                   | 6,56                       |
| Junho     | 19.578.913                       | 204,30                  | 10,43                                   | 6,81                       |
| Julho     | 21.249.427                       | 191,58                  | 9,02                                    | 6,18                       |
| Agosto    | 21.233.267                       | 206,15                  | 9,71                                    | 6,65                       |
| Setembro  | 19.292.068                       | 205,2                   | 10,64                                   | 6,84                       |
| Outubro   | 18.915.979                       | 225,99                  | 11,95                                   | 7,29                       |
| Novembro  | 19.250.724                       | 276,00                  | 14,34                                   | 9,20                       |
| Dezembro  | 16.004.550                       | 236,53                  | 14,78                                   | 7,63                       |

Fonte: Autoria própria

**Tabela 2 – Quantidades de odorante utilizadas e concentrações médias no City Gate de Araucária em 2014.**

| Mês       | Consumo de gás (m <sup>3</sup> ) | Odorante consumido (kg) | Índice de odoração (mg/m <sup>3</sup> ) | Média de odorante (kg/dia) |
|-----------|----------------------------------|-------------------------|---|----------------------------|
| Janeiro   | 17.083.695                       | 230,95                  | 13,52                                   | 7,45                       |
| Fevereiro | 15.036.833                       | 215,32                  | 14,32                                   | 7,69                       |
| Março     | 16.480.686                       | 217,62                  | 13,20                                   | 7,02                       |
| Abril     | 18.632.638                       | 237,90                  | 12,77                                   | 7,93                       |
| Maio      | 21.194.374                       | 246,45                  | 11,63                                   | 7,95                       |
| Junho     | 19.540.798                       | 239,70                  | 12,27                                   | 7,99                       |
| Julho     | 20.687.656                       | 239,32                  | 11,57                                   | 7,72                       |
| Agosto    | 16.077.976                       | 203,36                  | 12,65                                   | 6,56                       |
| Setembro  | 22.508.232                       | 270,90                  | 12,04                                   | 9,03                       |

Fonte: Autoria própria

Conforme a Tabela 1 e a Tabela 2 o índice de odoração, que é a concentração média de odorante no gás, variou de 9,02 a 14,78 mg/m<sup>3</sup>. Isso representa uma variação de 82% a 134,4% em relação a quantidade desejada de 11 mg/m<sup>3</sup>.

Certamente que a concentração instantânea de odorante no gás variou muito mais que a média, pois as vazões instantâneas são menores que as médias mensais, principalmente aos finais de semana.

### 3.1.2 Sinal de Entrada de Pulsos do Controlador N-300G

De acordo com o manual do sistema de injeção de odorante (EDC, 2001) o controlador modelo N-300G possui um terminal de entrada para que o sinal de pulsos seja captado, interpretado e utilizado no cálculo da variável “deslocamentos por minuto”, que é o tempo entre os deslocamentos da bomba, citado no item 3.1.1.

O sinal de entrada de pulsos pode ser medido em pulsos por minuto (ppm) ou pulsos por segundo (pps) e esses não podem exceder 99 pulsos por minuto ou segundo, respectivamente. Porém, não está descrito no manual qual a taxa de amostragem para delimitação da frequência dos pulsos.

Para verificação das características desse sinal foram realizados testes no laboratório Q107 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Esses testes são descritos no item 4.1.

## 3.2 CORRETOR DE VAZÃO

No *City Gate* de Araucária existe um sistema de medição de volume de gás onde o corretor de vazão utilizado é o modelo Mini-AT da empresa *Mercury Instruments*. Este equipamento é um corretor eletrônico de volume de gás natural. Sua montagem padrão é compatível com medidores tipo rotativo, medidores tipo turbina e medidores de diafragma que tenham uma saída de eixo rotativo com acoplamento mecânico de impulsores de instrumentos.

O Mini-AT é compatível também com medidores que proporcionem pulsos de medição de alta ou baixa frequência, quando a placa de entrada de pulsos adequada for instalada (MERCURY INSTRUMENTS, 2008).

Todas as informações utilizadas no item 3.2 foram obtidas do manual de operações do Mini-AT (MERCURY INSTRUMENTS, 2008). A Figura 6 apresenta um corretor de vazão instalado em uma estação de medição de volume de gás transacionado.



**Figura 6 – Corretor de vazão Mini-AT em uma Estação de Regulagem e Redução de Pressão.**  
**Fonte: Autoria própria**

### 3.2.1 Descrição Básica

O Mini-AT é um microcomputador dedicado que usa sensores de precisão para medir pressão e temperatura do gás e corrigir o volume medido. Os circuitos eletrônicos são ativados por um conjunto de baterias, localizado na porta do gabinete.

Enquanto está no modo de correção a maior parte dos circuitos eletrônicos está em estado de repouso, denominado *sleep*. Quando recebe um pulso correspondente a um volume de gás, os circuitos eletrônicos se energizam e começam o ciclo de correção. Os circuitos de entrada ativam, também, a entrada para o volume não corrigido.

Uma vez que o corretor de vazão inicia o ciclo de correção, seu *firmware* instrui a unidade de processamento (CPU) a obter medições analógicas. Pelo menos cinco leituras analógicas (pressão do gás, temperatura do gás, tensão da bateria principal, tensão da bateria de memória e temperatura interna do gabinete do corretor de vazão) são transmitidas simultaneamente através do conversor analógico/digital (A/D) para o microprocessador.

Os parâmetros configuráveis na memória do corretor de vazão são: pressão de referência, temperatura de referência, gravidade específica, entre outros. Os novos fatores de correção são, então, imediatamente aplicados ao volume não corrigido para se obter o volume corrigido. O montante do volume corrigido calculado, de acordo com o Relatório AGA 8, é somado ao total do volume corrigido. O volume não-corrigido recebido também é somado ao total do volume não-corrigido armazenado.

Quando o microprocessador completa a atualização de seus registros de memória e itens de códigos<sup>1</sup>, atualiza na tela do *display* de cristal líquido o novo valor de volume corrigido. O microprocessador, então, retira a energia da maioria dos circuitos da placa mãe do corretor de vazão e transmite pulsos correspondentes ao valor de volume corrigido, se o corretor de vazão for configurado para “pulsos de saída”. Caso não esteja configurado para emitir pulsos de saída, a placa mãe voltará para modo de repouso, esperando os próximos pulsos de entrada de volume não-corrigido.

Enquanto o Mini-AT está no modo de repouso, outras três condições podem fazer com que seja ativado: acesso à leitura através de lápis magnético (*Mag Wand Input*); enlace de comunicação serial ou uma entrada via *software* no Registro de Histórico.

Um acesso de leitura através do lápis magnético é causado ao passar um elemento magnético pelo *reed-switch* de leitura magnética localizado na placa do *display* de cristal líquido. Este acesso faz com que o microprocessador inicie o Modo de Leitura. Uma ativação causada pelo enlace de comunicação serial permite que o corretor de vazão se conecte aos dispositivos seriais conectados as portas RS-232C (local ou *modem*). Uma ativação de Registro de Histórico ocorre a intervalos regulares de tempo, conforme especificado pelo usuário.

---

<sup>1</sup> Itens de códigos são referências numéricas para os dados armazenados na memória do equipamento.

Depois de completar o ciclo de correção, a maioria dos circuitos da placa mãe se mantém energizados enquanto o corretor de vazão executa as ações requeridas pelo usuário.

O intervalo de cálculo do Mini-AT é denominado Ativação Total. Durante uma Ativação Total, todos os circuitos eletrônicos são ativados de modo que as medidas de pressão, temperatura e tensão possam ser obtidas e um novo Fator Total de Correção é calculado. Tanto o *display* de cristal líquido como os registros de volume são atualizados. Os parâmetros medidos são comparados com os limites estabelecidos para os alarmes e os alarmes são disparados se os limites são excedidos.

Depois que estas funções são concluídas, os circuitos eletrônicos retornam ao modo de repouso e inicia-se a transmissão dos pulsos correspondentes ao valor do volume corrigido. O intervalo completo de ativação pode ser ajustado através do parâmetro Número de Revoluções por Ativação (N) (*Revolutions per Wake Up*), que pode variar de 1 a 15, sendo 1 o valor padrão.

As ativações do corretor de vazão devido às revoluções do medidor de vazão, ativada pelo valor N, são chamadas Ativações Médias. Durante uma Ativação Média, a pressão e a temperatura do gás não são medidas e o *display* de cristal líquido não é atualizado. Os últimos fatores de correção calculados são usados para atualizar os registros de volume. Se o Mini-AT tiver sido configurado para saída de pulsos, os pulsos são transmitidos ao final de cada Ativação Média. Como os circuitos analógicos não estão ativos e o *display* de cristal líquido não é atualizado durante uma Ativação Média, utiliza-se menos energia da bateria, comparado com um corretor de vazão com um Número de Revoluções por Ativação igual a um ( $N = 1$ ).

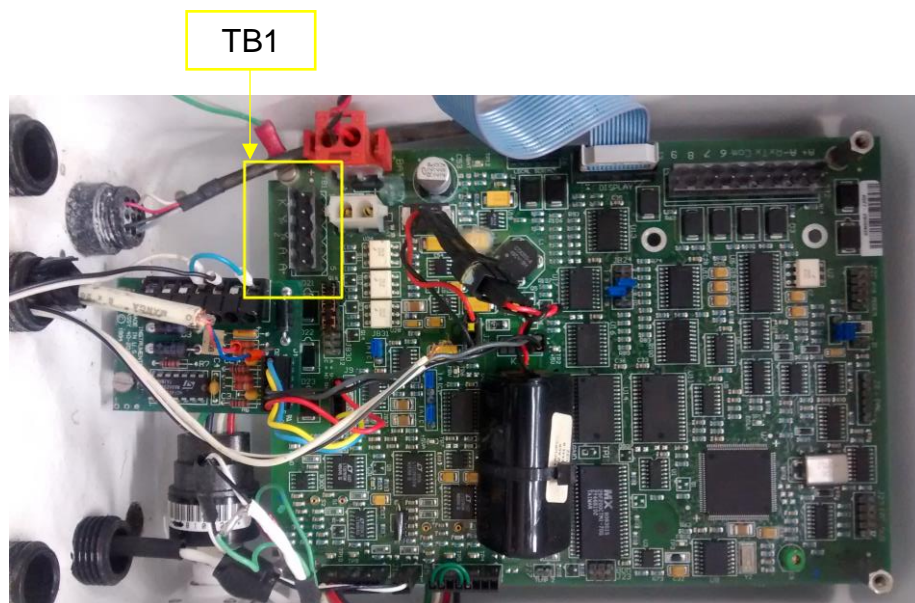
### 3.2.2 Sinais Digitais do Corretor de Vazão

Como uma função padrão, o Mini-AT fornece saídas de pulsos correspondentes ao valor do volume corrigido e do volume sem correção.

O pulso relativo ao volume não-corrigido é gerado por um *reed-switch* montado sobre a placa eletrônica de entrada de pulsos, enquanto o disco magnético gira pelo *reed-switch* em cada revolução do medidor. O pulso relativo ao volume não-corrigido pode ser configurado como Forma-A (dois fios) ou como Forma-C (três

fios) no conector da placa eletrônica de entrada de pulsos (TB1), em destaque na Figura 7. O período de cada pulso é determinado pelo tipo e tamanho do medidor de vazão. A largura do pulso é de 62,5 milissegundos, com um período de 125 milissegundos. Outras larguras de pulso estão disponíveis substituindo os *jumpers* por resistores “*shunt*”.

A saída do pulso relativa ao volume corrigido possui um interruptor eletrônico que opera de forma similar a uma saída a transistor de coletor aberto. Todas as saídas de pulsos eletrônicos do Mini-AT, incluindo as saídas dos pulsos de alarme, possuem opto-isoladores para isolar eletronicamente os circuitos do Mini-AT dos dispositivos que recebem os pulsos.



**Figura 7 – Circuito eletrônico do Mini-AT.**  
Fonte: Autoria própria

A saída de pulso relativo ao volume corrigido pode ser configurada pelo usuário para representar os seguintes valores:

- Volume corrigido;
- Volume sem correção;
- Volume corrigido somente pela pressão;
- Tempo.

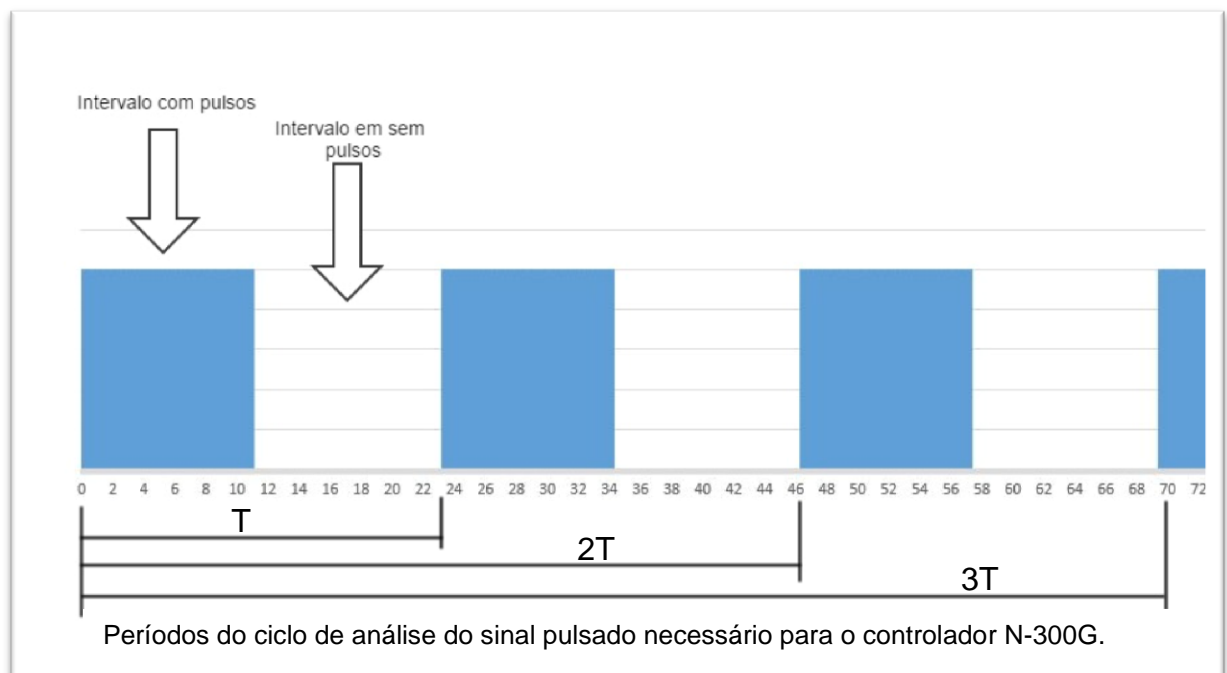
Com base no exposto e de posse dos dados de vazão do *City Gate* localizado em Araucária e da configuração do corretor de vazão é possível simular o sinal de pulsos de saída do corretor de vazão.



### 3.3 COMUNICAÇÃO ENTRE O CORRETOR DE VAZÃO E O CONTROLADOR DO SISTEMA DE INJEÇÃO DE ODORANTE

No início do desenvolvimento desse trabalho esperava-se que a comunicação fosse realizada de forma direta, sem equipamentos intermediários. Esperava-se, também, que fosse possível uma configuração do corretor de vazão que permitisse a interpretação do sinal pelo sistema de injeção de odorante.

Tal comunicação poderia ser possível se o período do ciclo de análises do controlador N-300G fosse o mesmo, ou proporcional, ao período do ciclo de envio de pulsos do corretor de vazão, ou seja, se o N-300G fosse capaz de totalizar o número de pulsos a cada ativação do corretor de vazão, conforme apresentado na Figura 8.



**Figura 8 – Simulação de pulsos identificando os intervalos de análise necessários para a comunicação direta entre o corretor de vazão e o controlador N-300G.**

Fonte: Autoria própria

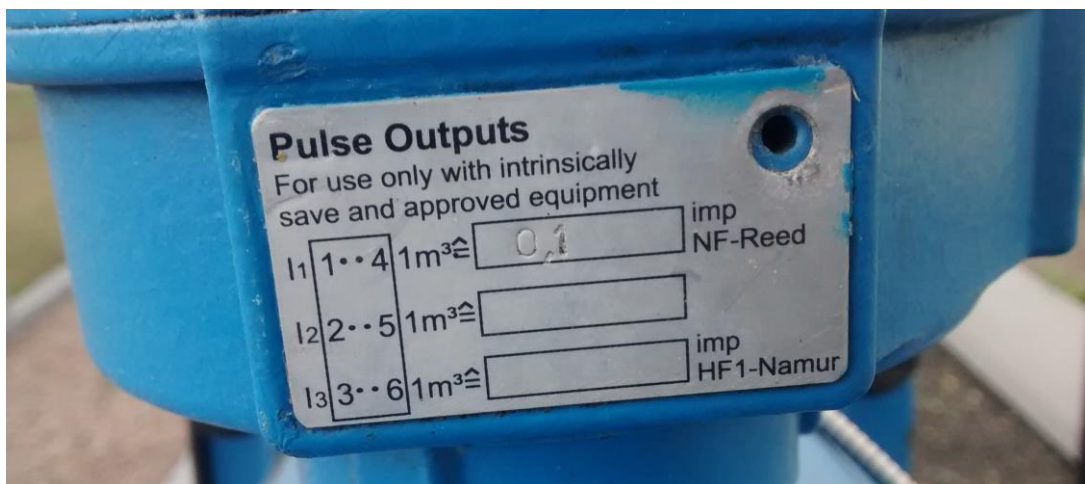
Para a simulação dos pulsos gerados na Figura 8 foram utilizados os seguintes parâmetros:

- Vazão: 54.000 m<sup>3</sup>/h. Essa vazão foi definida verificando-se o histórico de vazões horárias para o medidor em questão;
- Fator de correção PTZ: 35,4. Este fator é o fator calculado pelo corretor de vazão para a pressão manométrica de 35 kgf/cm<sup>2</sup> e temperatura ambiente;



- Multiplicador de saída de pulsos: 0,5. Este é o fator multiplicador interno do corretor de vazão que permite diminuir ou aumentar o número de pulsos de forma que os pulsos não se tornem contínuos.
- Pulsos por m<sup>3</sup> medido: 0,1. Essa informação é obtida do medidor em questão e caracteriza a relação entre pulsos e metro cúbico de gás medido. Tem-se que 10 m<sup>3</sup> correspondem a 354 m<sup>3</sup> nas condições de referência, conforme item 2.2. Nesse caso, nas condições de medição, a cada 10 m<sup>3</sup> o medidor emite um pulso para o corretor de vazão. Conforme especificação do gerador de pulsos do medidor, a cada 1 m<sup>3</sup> tem-se 0,1 pulso na saída, apresentado na Figura 9;
- Número de Revoluções por Ativação (N): 1. Esse fator é determinado no corretor de vazão conforme apresentado no item 3.2.1;
- Espaçamento de pulsos: 0,0625 s. Espaçamento de pulsos determinado no corretor de vazão conforme apresentado no item 3.2.1. O espaçamento de pulsos corresponde à largura do pulso em nível alto.

Nesse ponto, poder-se-ia simular o sinal pulsado do corretor de vazão, mas não era conhecido o ciclo de amostragem de sinais pulsados do controlador do sistema de injeção de odorante. Para validar as simulações e para determinar esse ciclo de amostragem foram realizados testes nos equipamentos envolvidos, esses testes são descritos no Capítulo 4.



**Figura 9 – Especificação do gerador de pulsos do medidor em questão.**  
**Fonte: Autoria própria**

## 4 TESTES E ANÁLISES DOS RESULTADOS

Conforme apresentado no Capítulo 3, não se conhecia suficientemente o sinal de pulsos do corretor de vazão, nem a forma de análise do sinal recebido pelo controlador N-300G. Para obter essas informações foram necessários testes dos equipamentos no laboratório Q107 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Para os testes foram utilizados geradores de função, fontes de tensão e osciloscópios.

Como não era possível retirar o controlador N-300G do local de operação, os testes foram realizados com o controlador modelo N-200.

O controlador N-200 é uma geração anterior a do N-300G e apresenta poucas diferenças em relação a esse. O controlador N-300G é capaz de se comunicar a partir de um canal serial, através do protocolo MODBUS, enquanto que o N-200 não tem essa funcionalidade. Em todos os outros quesitos o N-200 é igual ao N-300G (EDC, 2001).

### 4.1 TESTES EM BANCADA

Foram realizados cinco testes em bancada, nos meses de agosto e outubro.

#### 4.1.1 Teste 1

O primeiro teste foi realizado na Compagas. O sistema foi montado com um corretor de vazão, um controlador N-200 e com um gerador de pulsos de frequência fixa de 25 mHz. O sinal pulsado gerado pelo corretor de vazão Mini-AT foi registrado em um osciloscópio, conforme Figura 10.

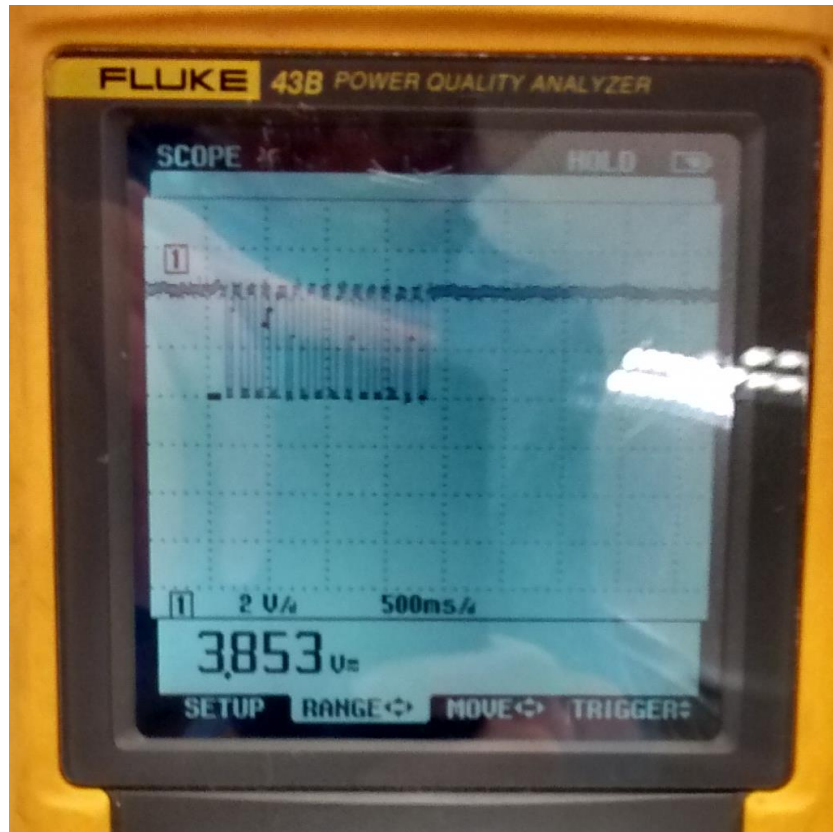


Figura 10 – Osciloscópio mostrando sinal pulsado do corretor de vazão.

Fonte: Autoria própria

Como se pode verificar na Figura 10, o sinal emitido é intermitente. De acordo com o apresentado no item 3.2.2, o corretor de vazão emite um número fixo de pulsos a cada ativação. Portanto, conclui-se que o número de pulsos é independente da vazão e dado pela equação (2).

$$\text{Número de pulsos} = N \times P \times PTZ \times M \quad (2)$$

onde:

- N – Número de Revoluções por Ativação. Esse parâmetro não é fixado nessa etapa. Esperava-se variar esse parâmetro para estabelecer a comunicação entre o corretor de vazão e o controlador;
- P – Pulsos por m<sup>3</sup> medido, sendo P=0,1;
- PTZ – Fator de correção, sendo PTZ=35,4;
- M – Multiplicador de saída de pulsos, sendo M=0,5.

#### 4.1.2 Teste 2

A intenção desse teste era analisar as respostas do controlador N-200 para diferentes frequências pulsadas em sua entrada. Para a realização desse teste foram utilizados os seguintes equipamentos: controlador N-200, osciloscópio, gerador de funções e fonte de tensão. A Figura 11 apresenta os equipamentos utilizados no teste.



**Figura 11 – Equipamentos utilizados no teste.**  
**Fonte: Autoria própria**

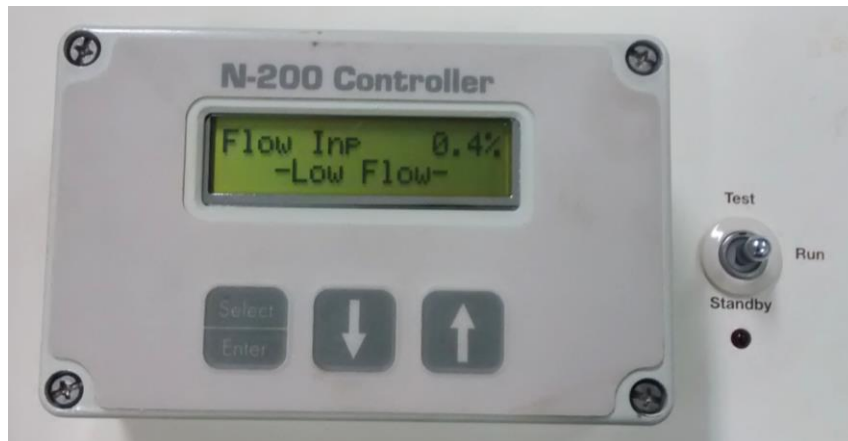
Após interligados o gerador de funções com o osciloscópio e o controlador, foram testadas várias frequências no gerador de funções para se obter a resposta do controlador. A forma de onda dos pulsos enviados ao controlador N-200 eram analisadas com o osciloscópio.

O teste não ocorreu como esperado, pois demorou-se para descobrir que era necessário uma tensão de pico a pico de, pelo menos, 4 V aplicada à entrada para que o controlador interpretasse os sinais. Essa informação não está apresentada no manual do equipamento.

A Figura 12 apresenta a resposta do controlador para pulsos com tensões menores que 4 V. Para esse caso a vazão interpretada pelo controlador é 0,4%.

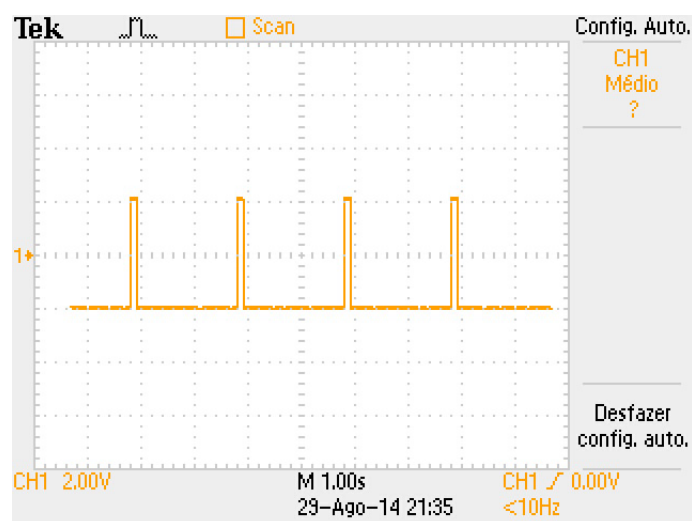
O teste foi considerado com sucesso quando o controlador N-200 respondeu ao sinal pulsado aplicado em sua entrada. Na Figura 13 é possível verificar o sinal

medido pelo osciloscópio relativo ao pulso gerado pelo gerador de funções, com amplitude de 4 V, frequência de 0,5 Hz e sinal de nível alto de 125 milissegundos.



**Figura 12 – Resposta do controlador para pulsos com tensões menores que 4 V (0,4%).**

Fonte: Aatoria própria



**Figura 13 – Sinal gerado pelo gerador de funções.**

Fonte: Aatoria própria

Conforme apresentado no item 3.1.2 é possível definir no controlador o número de pulsos por minuto que corresponde a uma vazão de 100%. Nesse caso foi definido 60 pulsos por minuto. Como se pode verificar na Figura 14, o controlador respondeu corretamente quando aplicado o sinal de 0,5 Hz da Figura 13, que corresponde a 30 pulsos por minuto e 50% da vazão.

Ao interromper-se o sinal pulsado foi verificado que o controlador analisa o sinal pulsado em ciclos pequenos de tempo, pois demorou em torno de 2 segundos

para esse responder à interrupção mudando a indicação de vazão para aproximadamente 0%.



**Figura 14 – Resposta do controlador N-200 ao sinal aplicado.**  
**Fonte: Autoria própria**

#### 4.1.3 Teste 3

A intenção desse teste era analisar a forma do sinal pulsado enviado pelo corretor de vazão Mini-AT e realizar a comunicação deste com o controlador N-200. O esperado era definir os parâmetros que possibilitassem a comunicação entre os equipamentos.

Entretanto, devido a problemas com alguns cabos específicos do Mini-AT, não foi possível nesse teste realizar a configuração do corretor de vazão. Sem poder variar os parâmetros, o teste não obteve êxito.

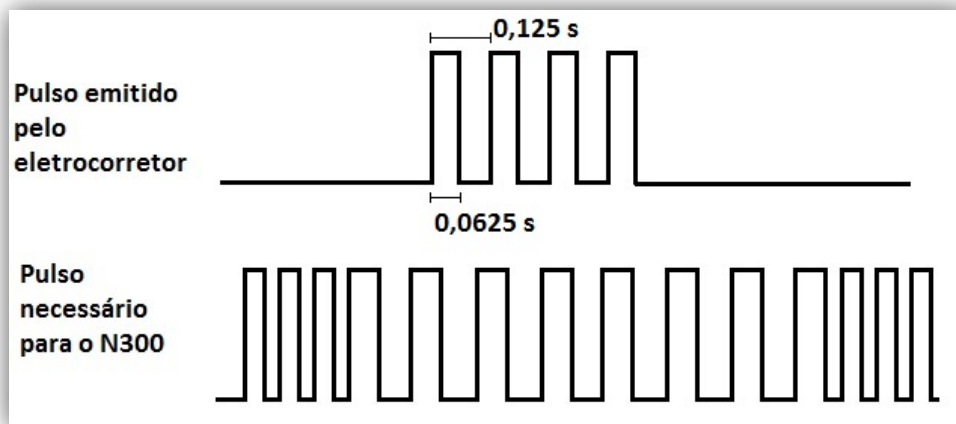
#### 4.1.4 Teste 4

Nesse teste foi realizada a mesma montagem do Teste 3. Por mais que fossem variados os parâmetros envolvidos, como tamanho do pulso, revoluções por ativação e multiplicador de saída de pulsos, não foi possível sincronizar os ciclos dos



dois equipamentos. Em todas as medições realizadas havia sempre um erro e esse erro variava conforme era variada a frequência de pulsos inicial.

Na Figura 15 estão representados os dois sinais pulsados, onde o pulso emitido pelo corretor de vazão foi de 8 Hz. Como conclusão desse teste tem-se que o sinal do N-200 deve ser um sinal pulsado contínuo, mas com variações de frequência.



**Figura 15 – Representação dos sinais envolvidos.**  
**Fonte: Autoria própria**

#### 4.1.5 Interface Eletrônica

Analisando os testes anteriores, verificou-se que não é possível uma comunicação direta entre os dois equipamentos. Os principais motivos que levam a essa conclusão são:

- Intermitência do sinal do corretor de vazão: o sinal necessário para os controladores N-300G e N-200 deve ser um sinal pulsado contínuo;
- Frequência fixa dos pulsos do corretor de vazão: durante o sinal pulsado do corretor de vazão a frequência é fixada como parâmetro e não varia, sendo utilizado 8 Hz no Teste 3, enquanto que o controlador N-200 espera uma variação na frequência e não faz a totalização a cada minuto.

Portanto, foi necessário o desenvolvimento de um equipamento intermediário capaz de interpretar o sinal do corretor de vazão e enviar o sinal necessário para o controlador.

Como solução poderia ser utilizado um controlador lógico programável (CLP), mas optou-se por um sistema eletrônico de menor custo utilizando um microcontrolador da plataforma Arduino. A escolha por essa interface eletrônica foi devido a facilidade de montagem e programação.

A lógica implementada foi baseada no fato de que o tempo entre as ativações define a vazão. O tempo entre as ativações ( $t$ ) e o tempo ocioso ( $t_{idle}$ ) são apresentados na Figura 16.

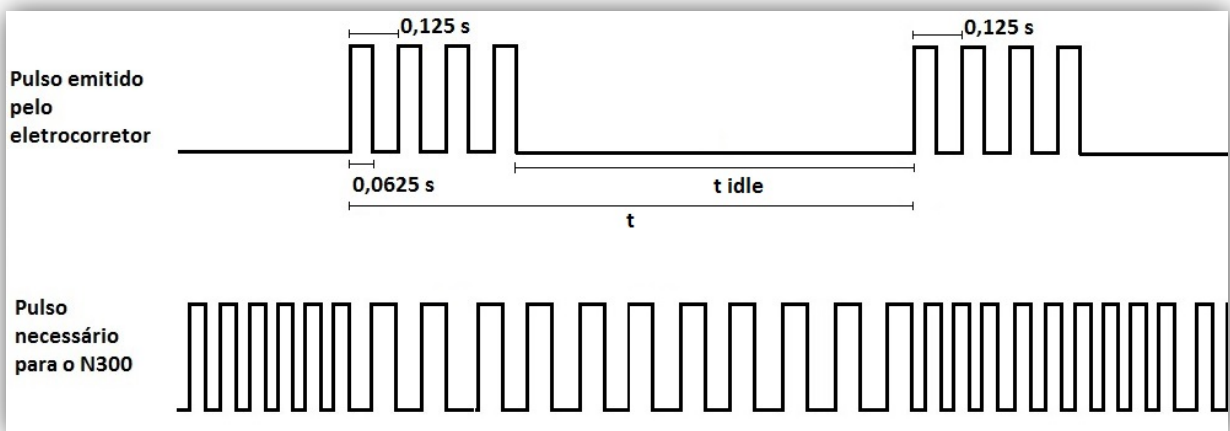


Figura 16 – Representação dos tempos dos sinais eletrônicos.  
Fonte: Autoria própria

Baseado no exposto no item 3.2.2 e nos testes anteriores, pode-se deduzir a equação (3) para o tempo entre as ativações do corretor de vazão.

$$t = \frac{\text{Volume a cada ativação}}{\text{Vazão}} = \frac{P \times N \times PTZ}{Q} \quad (3)$$

onde:

- $t$ : tempo entre cada pulso inicial emitido pelo corretor de vazão, em segundos;
- $P$ : representa o número de pulsos por  $m^3$  medido nas condições de medição, sendo  $P = 0,1$ ;
- $N$ : representa o Número de Revoluções por Ativação. Foi utilizado o valor 10 para o caso do *City Gate* de Araucária;
- $PTZ$  representa o fator de conversão, sendo  $PTZ = 35,4$ ;
- $Q$ : é a vazão instantânea em  $m^3/s$ .



A equação (4) apresenta a equação (3) com os valores dos parâmetros já substituídos, onde verifica-se que a vazão é uma função inversamente proporcional ao tempo.

$$Q = \frac{P \times N \times PTZ}{t} = \frac{0,1 \times 10 \times 35,4}{t} = \frac{35,4}{t} \quad (4)$$

Baseado na equação (4) foi desenvolvida uma lógica de programação do microcontrolador para realizar o tratamento do sinal fornecido pelo corretor de vazão Mini-AT para o controlador N-300G. A lógica simplificada da programação está demonstrada no fluxograma da Figura 17.

Nessa etapa do projeto foram definidos todos os parâmetros utilizados, tais como, vazão máxima, vazão mínima, frequência máxima e espaçamento dos pulsos.

A vazão máxima foi definida em 15 m<sup>3</sup>/s (54.000 m<sup>3</sup>/h) tendo em vista a vazão máxima utilizada no *City Gate* de Araucária nos últimos doze meses adicionada da vazão máxima de um cliente específico que entrou em operação em meados de setembro desse ano e possui uma vazão significativa.

A vazão mínima foi definida como 60% de 54.000 m<sup>3</sup>/h. Porém esse valor está em análise tendo em vista que os dados existentes não são suficientes para definir uma vazão mínima enquanto esse novo cliente está operando.

Para que o sistema de injeção de odorante responda mais rápido às variações de sinal foi escolhido o modo de operação de pulsos por segundo nos controladores N-200 e N-300G. Tendo em vista os testes iniciais na lógica do microcontrolador foi escolhida uma frequência máxima de 40 Hz, que apresentou menos erros quando comparada com outras frequências testadas.

A lógica de programação apresentada na Figura 17 consiste em algumas etapas simples. Primeiro são declaradas as variáveis necessárias. Em seguida é necessário inicializar os pinos de leitura e escrita. Após essas duas etapas inicia-se o ciclo de leitura e envio de pulsos. O microcontrolador capta variações na tensão de entrada e analisa o período de cada pulso. Se o período for maior que um segundo, o microcontrolador calcula a diferença entre os tempos de cada sequência de pulsos (t). Em seguida calcula a vazão de acordo com a equação (4).

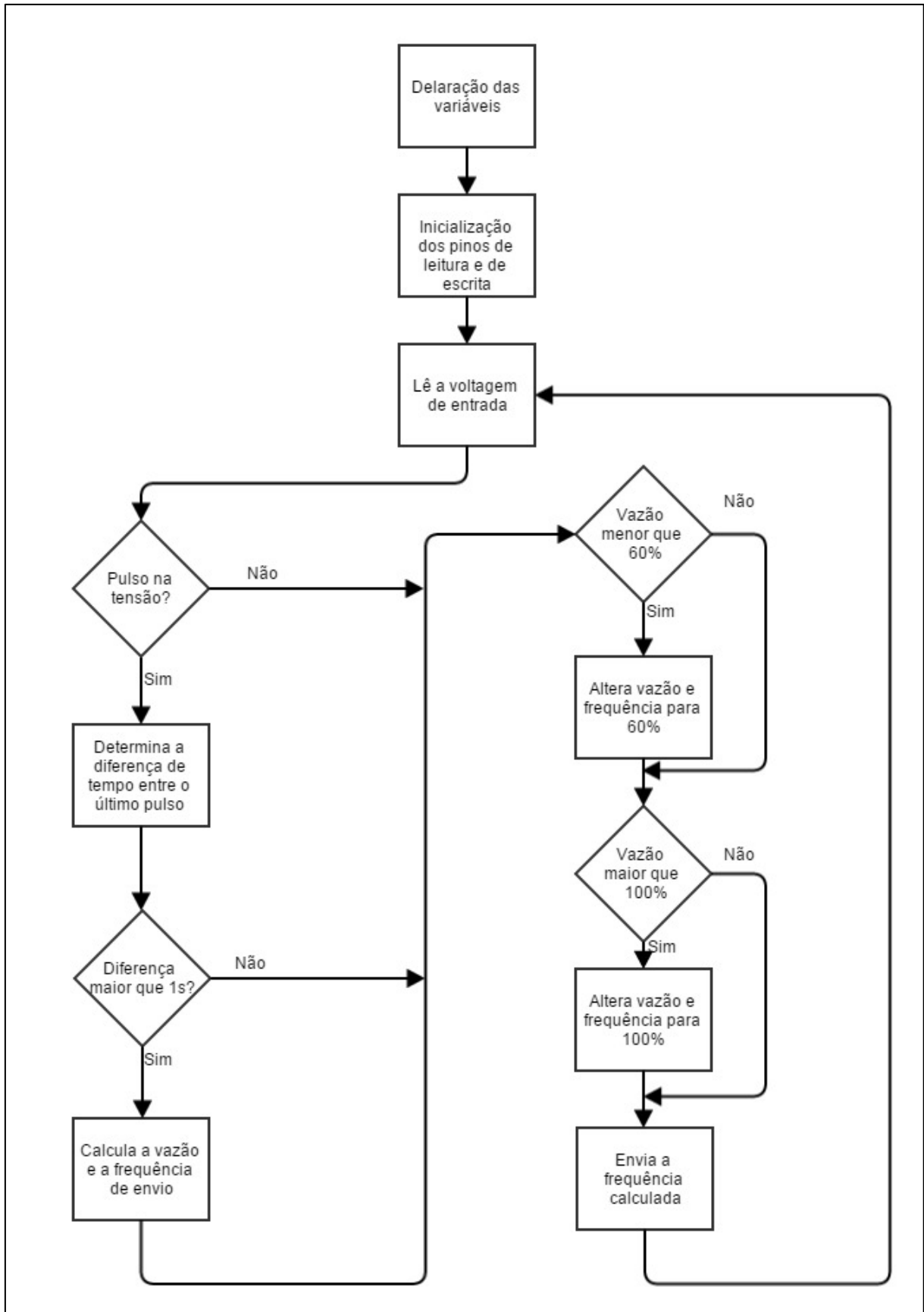


Figura 17 – Fluxograma de programação do microcontrolador.  
 Fonte: Autoria própria

Antes de ser enviado o sinal de vazão, esse é analisado e se for maior que 100% a vazão é definida em 100% e se for menor que 60%, a vazão é definida em 60%. Essas etapas são para evitar que um sinal muito alto ou muito baixo seja enviado ao controlador indevidamente. Esse erro no cálculo da vazão ocorre quando o corretor de vazão é ativado por um acesso à leitura através de lápis magnético, enlace de comunicação serial ou uma entrada via *software* no Registro de Histórico.

Esse sinal errado possui em torno de 5 minutos, tempo necessário para dois ciclos de ativação do corretor de vazão. A vazão máxima e a vazão mínima servem como limites para a frequência a ser enviada.

Em seguida, o microcontrolador envia a frequência calculada pela porta de saída até o controlador N-300 do sistema de injeção de odorante e volta a analisar a tensão de entrada, reiniciando o ciclo. Esse ciclo é repetido a cada 500 ms e o envio do sinal ocorre permanentemente.

#### 4.1.6 Teste 5

Após o desenvolvimento do sistema eletrônico para tratamento do sinal fornecido pelo corretor de vazão foi possível realizar alguns testes no laboratório da Compagas. Foi utilizado um gerador de funções e os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 3. Esses resultados demonstram que a lógica funcionou como esperado e que as diferenças entre a vazão simulada e a vazão no controlador N-200 são aceitáveis. Nesse teste o sistema operou continuamente por mais de 24 horas contínuas.

**Tabela 3 – Resultados do teste 5.**

| <b>Frequência enviada (Hz)</b> | <b>Vazão correspondente (m<sup>3</sup>/h) [%]</b> | <b>Tempo entre sinais do corretor de vazão (ms)</b> | <b>Vazão controlada no N-200 (m<sup>3</sup>/h) [%]</b> |
|--------------------------------|---|---|--|
| <b>0,01</b>                    | 12.744 [23,6%]                                    | 92.079  | 32.238 [59,4%]   |
| <b>0,02</b>                    | 25.400 [47,2%]                                    | 50.099  | 32.886 [60,9%]   |
| <b>0,03</b>                    | 38.200 [70,8%]                                    | 33.306  | 38.500 [71,3%]   |
| <b>0,04</b>                    | 50.976 [94,4%]                                    | 25.039  | 50.598 [93,7%]   |
| <b>0,05</b>                    | 63.720 [118%]                                     | 19.940  | 54.810 [101,5%]  |

**Fonte: Autoria própria**

## 4.2 TESTE EM CAMPO

O teste em campo foi realizado no *City Gate* de Araucária, com o auxílio de dois técnicos da Compagas. Esse teste durou 20 dias sendo que foram monitoradas as vazões e as quantidades de odorante injetadas a cada dia.

O controlador N-300G foi configurado de acordo com os parâmetros apresentados no item 4.1.5 e, também, com a concentração adequada de odorante por m<sup>3</sup> de gás natural, que é de 11 mg/m<sup>3</sup>.

Na Figura 18 é indicada a vazão instantânea medida pelo corretor de vazão (44.584 m<sup>3</sup>/h) e na Figura 19 a vazão indicada no controlador N-300 do sistema de injeção de odorante no mesmo momento (80,9% de 54.000 m<sup>3</sup>/h, que corresponde a 43.686 m<sup>3</sup>/h). Existe uma diferença de 868 m<sup>3</sup>/h, correspondente a 1,9%. Esse erro é devido às imperfeições no sinal enviado pelo microcontrolador e, também, nas imperfeições da interpretação do sinal pelo controlador N-300G. Como a quantidade de odorante injetada é muito pequena, esse erro não é significativo.



**Figura 18 – Corretor de vazão indicando a vazão instantânea.**

**Fonte: Autoria própria**



**Figura 19 – Controlador N-300G indicando o sinal de vazão de 80,9%.**

**Fonte: Autoria própria**

A Tabela 4 apresenta os resultados para os vinte dias dos testes em campo. Nela são apresentadas as concentrações de odorante injetado (COG) e a diferença entre a vazão indicada pelo controlador N-300G e a enviada pelo corretor de vazão. Essa diferença está dentro do esperado e não prejudica a odoração do gás.

Conforme Tabela 4, ocorreram variações entre 9,43 mg/m<sup>3</sup> e 12,55 mg/m<sup>3</sup> na concentração de odorante injetado (COG). Essas variações são devido ao fato de que o cálculo utilizado para chegar-se a concentração de odorante injetado não considera os efeitos da variação da temperatura ambiente sobre a quantidade líquida injetada. O controlador N-300G faz o cálculo dessa variação através do medidor de nível do verômetro e modifica a quantidade injetada de forma que a concentração de odorante injetado fique o mais próximo possível de 11 mg/m<sup>3</sup>.

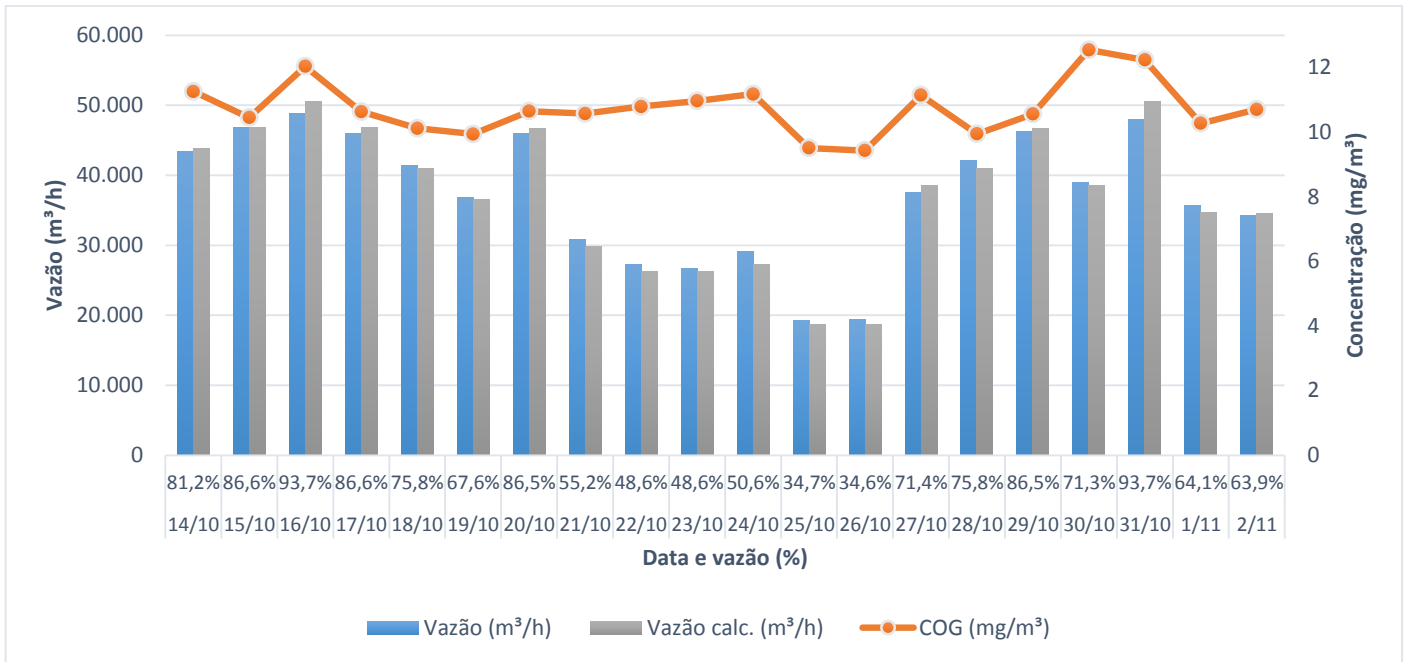
Cabe ressaltar que nos dias 21 a 26 de outubro um grande cliente da Compagas apresentou uma parada não programada o que resultou na diminuição da vazão conforme apresentado na Figura 20. Caso a odoração nesse período fosse realizada em função do tempo e não em função da vazão de gás e não fosse realizada uma intervenção operacional, a quantidade de odorante injetada seria a

mesma que para uma vazão de 50.000 m<sup>3</sup>/h e, conseqüentemente, a concentração de odorante no gás seria, pelo menos, 100% superior à esperada.

**Tabela 4 – Resultados do teste em campo.**

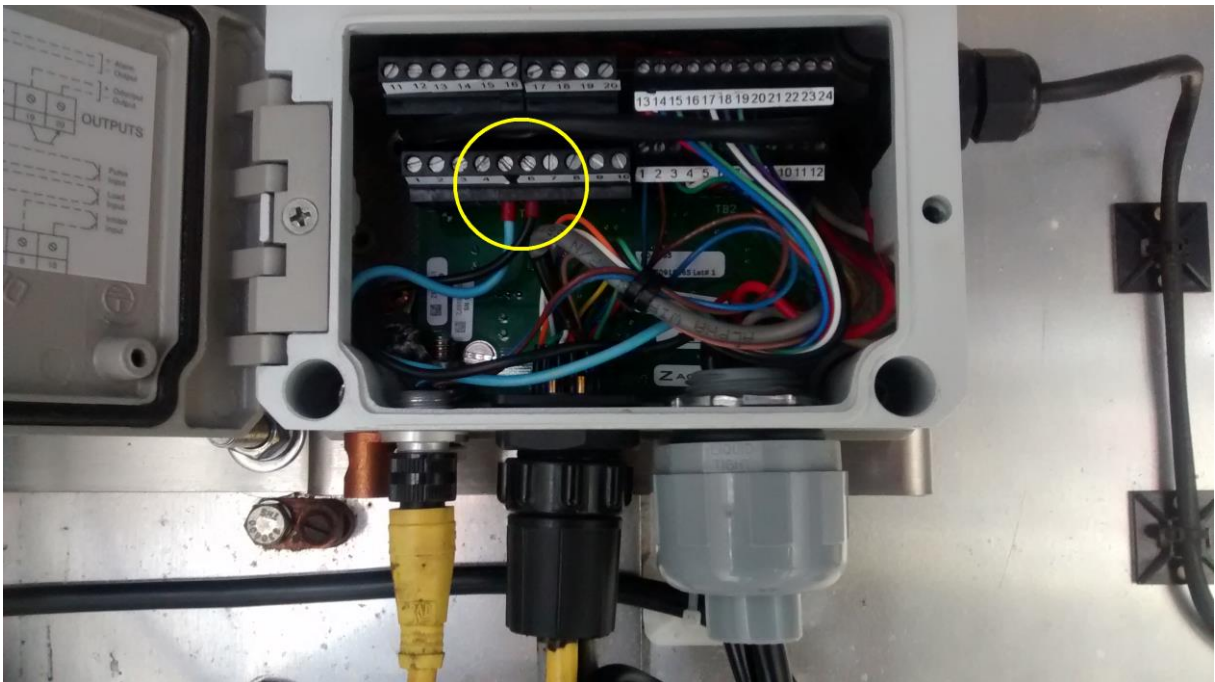
| Data  | Controlador N-300G            |  | Corretor de vazão         | Diferença | COG (mg/m <sup>3</sup> ) |
|-------|-------------------------------|--|---------------------------|-----------|--------------------------|
|       | Vazão (%) (m <sup>3</sup> /h) | Tempo entre deslocamentos da bomba (s) | Vazão (m <sup>3</sup> /h) |           |                          |
| 14/10 | 81,2% [43.848]                | 6                                      | 43.433                    | 0,96%     | 11,26                    |
| 15/10 | 86,6% [46.764]                | 6                                      | 46.790                    | -0,06%    | 10,45                    |
| 16/10 | 93,7% [50.598]                | 5                                      | 48.751                    | 3,79%     | 12,04                    |
| 17/10 | 86,6% [46.764]                | 6                                      | 45.966                    | 1,74%     | 10,64                    |
| 18/10 | 75,8% [40.932]                | 7                                      | 41.417                    | -1,17%    | 10,12                    |
| 19/10 | 67,6% [36.504]                | 8                                      | 36.883                    | -1,03%    | 9,94                     |
| 20/10 | 86,5% [46.710]                | 6                                      | 45.909                    | 1,74%     | 10,65                    |
| 21/10 | 55,2% [29.808]                | 9                                      | 30.828                    | -3,31%    | 10,57                    |
| 22/10 | 48,6% [26.244]                | 10                                     | 27.183                    | -3,45%    | 10,79                    |
| 23/10 | 48,6% [26.244]                | 10                                     | 26.752                    | -1,90%    | 10,97                    |
| 24/10 | 50,6% [27.324]                | 9                                      | 29.154                    | -6,28%    | 11,18                    |
| 25/10 | 34,7% [18.738]                | 16                                     | 19.281                    | -2,82%    | 9,51                     |
| 26/10 | 34,6% [18.684]                | 16                                     | 19.439                    | -3,88%    | 9,43                     |
| 27/10 | 71,4% [38.556]                | 7                                      | 37.604                    | 2,53%     | 11,15                    |
| 28/10 | 75,8% [40.932]                | 7                                      | 42.133                    | -2,85%    | 9,95                     |
| 29/10 | 86,5% [46.710]                | 6                                      | 46.296                    | 0,89%     | 10,56                    |
| 30/10 | 71,3% [38.502]                | 6                                      | 38.975                    | -1,21%    | 12,55                    |
| 31/10 | 93,7% [50.598]                | 5                                      | 47.951                    | 5,52%     | 12,24                    |
| 1/11  | 64,1% [34.614]                | 8                                      | 35.703                    | -3,05%    | 10,27                    |
| 2/11  | 63,9% [34.506]                | 8                                      | 34.250                    | 0,75%     | 10,71                    |

Como a odoração foi realizada em função da vazão, nesse caso específico entre os dias 21 e 26 de outubro deixou-se de injetar no sistema aproximadamente 31,4 kg de odorante. Como o custo do quilograma de odorante é de R\$ 41,12, apenas nesse evento economizou-se aproximadamente R\$ 1.291,17. A Figura 20 representa os dados da Tabela 4 em um gráfico.



**Figura 20 – Gráfico dos resultados do teste em campo.**  
**Fonte: Autoria própria**

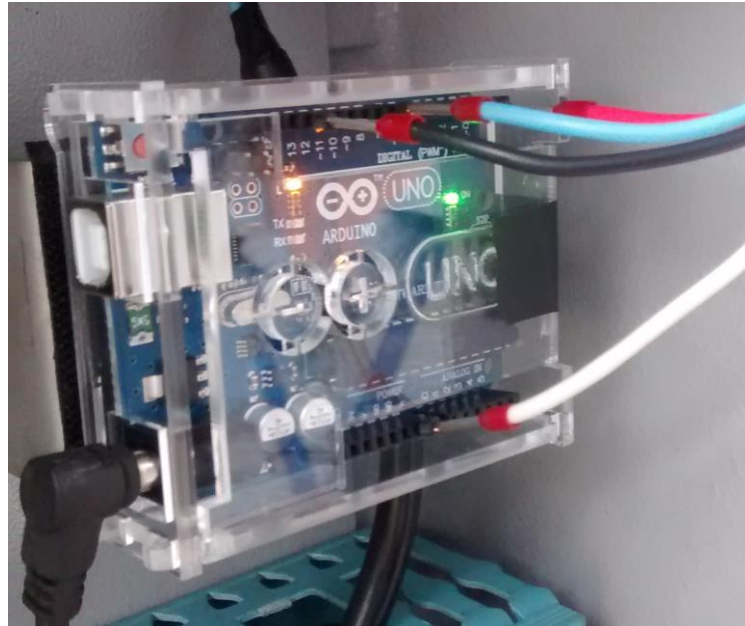
A Figura 21 apresenta a ligação dos cabos do sinal pulsado do corretor de vazão nos terminais do controlador N-300G.



**Figura 21 – Ligação do sinal pulsado nos terminais do controlador N-300G.**  
**Fonte: Autoria própria**

A alimentação do sistema eletrônico deve ser contínua e redundante. Desta forma foi utilizada a alimentação solar existente no local e a redundância é feita com o uso de uma bateria com controle de tensão.

A Figura 22 apresenta o sistema eletrônico com microcontrolador operando.



**Figura 22 – Sistema eletrônico operando.**  
**Fonte: Autoria própria**

A Figura 23 apresenta o sistema de alimentação e a placa do microprocessador instalada em caixa de acrílico dentro da caixa a prova de explosão.

Após a finalização dos testes em campo foi realizada a média mensal da quantidade injetada de odorante por metro cúbico no mês de outubro, que resultou em um índice de odoração para o mês de 11,05 mg/m<sup>3</sup>. É importante notar que apenas metade do mês de outubro o sistema operou de forma proporcional à vazão e mesmo assim a média ficou muito próximo do valor configurado no controlador N-300G, que é de 11 mg/m<sup>3</sup>.

A Tabela 5 apresenta as médias mensais de janeiro a outubro de 2014. Pode-se verificar o aumento no volume de gás que foi medido no *City Gate* localizado em Araucária de 16.077.976 m<sup>3</sup>, no mês de agosto, para 28.508.232 m<sup>3</sup> no mês de outubro. Comparando o índice de odoração nos meses anteriores com o mês de outubro verifica-se uma proximidade muito maior do valor 11 mg/m<sup>3</sup> que é configurado no controlador N-300G.



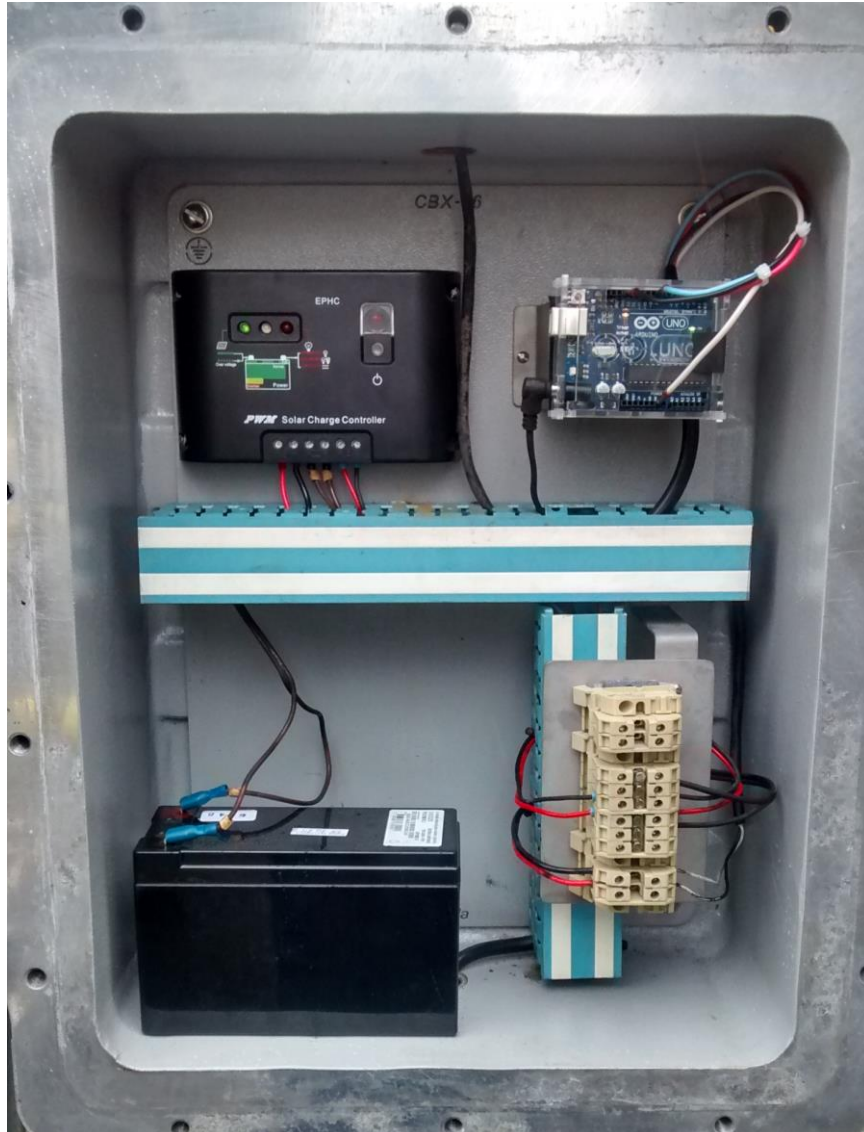


Figura 23 – Sistema de alimentação e interface eletrônica instalada.  
Fonte: Autoria própria

Tabela 5 – Totalização mensal da concentração de odorante no gás natural do *City Gate* de Araucária.

| Mês       | Consumo de gás (m <sup>3</sup> ) | Odorante consumido (kg) | Índice de odoração (mg/m <sup>3</sup> ) | Média de odorante (kg/dia) |
|-----------|----------------------------------|-------------------------|---|----------------------------|
| Janeiro   | 17.083.695                       | 230,95                  | 13,52                                   | 7,45                       |
| Fevereiro | 15.036.833                       | 215,32                  | 14,32                                   | 7,69                       |
| Março     | 16.480.686                       | 217,62                  | 13,20                                   | 7,02                       |
| Abril     | 18.632.638                       | 237,90                  | 12,77                                   | 7,93                       |
| Maio      | 21.194.374                       | 246,45                  | 11,63                                   | 7,95                       |
| Junho     | 19.540.798                       | 239,70                  | 12,27                                   | 7,99                       |
| Julho     | 20.687.656                       | 239,32                  | 11,57                                   | 7,72                       |
| Agosto    | 16.077.976                       | 203,36                  | 12,65                                   | 6,56                       |
| Setembro  | 22.508.232                       | 270,90                  | 12,04                                   | 9,03                       |
| Outubro   | 28.502.633                       | 314,96                  | 11,05                                   | 10,16                      |

Fonte: Autoria própria

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho é estabelecer a odoração do gás natural de acordo com a vazão instantânea medida no *City Gate* da Compagas utilizando o sinal de saída do corretor de vazão para controle da quantidade de odorante injetada pelo controlador N-300G.

Apesar de um dos objetivos específicos, que era configurar o controlador N-300G de acordo com o sinal do corretor de vazão, não ter sido alcançado de acordo com o esperado inicialmente, solucionou-se o problema ao ser desenvolvido um sistema eletrônico para modificar o sinal gerado pelo corretor de vazão e fornecê-lo ao controlador.

A metodologia utilizada pelo controlador para o cálculo da concentração de odorante por metro cúbico de gás natural, nas condições de referência, mostrou-se eficiente.

Os resultados obtidos nos testes são satisfatórios sendo que ocorram variações entre 9,5 mg/m<sup>3</sup> e 12,5 mg/m<sup>3</sup> na concentração calculada. Essas variações são devido ao fato de que o cálculo utilizado para encontrar a concentração de odorante no gás não considera os efeitos da variação da temperatura ambiente sobre a quantidade líquida injetada, enquanto que o controlador N-300G utiliza um sinal da temperatura do verômetro para calcular de forma mais eficiente a quantidade a ser injetada.

Outro indicador da eficiência desse sistema é obtido quando se verifica que foi de 11,05 mg/m<sup>3</sup> a média da concentração de odorante no gás natural do *City Gate* de Araucária no mês de outubro, sendo que 11 mg/m<sup>3</sup> é a concentração escolhida de odorante no gás.

Não foram verificadas diferenças significativas entre o controlador N-200, utilizado nos testes, e o controlador N-300G, utilizado no sistema instalado em campo.

Como constatado nos seis dias de parada não programada de um cliente significativo, em outubro, o sistema de odoração proporcional à vazão responde rapidamente a redução de vazão, proporcionando economia significativa de odorante.

Com a concentração estável de odorante no produto a Compagas está distribuindo um produto de melhor qualidade.

Ao final deste projeto, pode-se concluir que o objetivo de estabelecer a odoração do gás natural de acordo com a vazão instantânea medida no *City Gate* de Araucária foi alcançado com êxito.

## REFERÊNCIAS

ABREU, Percy L. de; MARTINEZ, José Antônio. **Gás natural: o combustível do novo milênio**. 2. ed. Porto Alegre: Plural Comunicação, 2003.

AGA. AMERICAN GAS ASSOCIATION. **Report n. 8: compressibility and supercompressibility for natural gas and other hydrocarbon gases**. AGA, 1988.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2008a. **NBR 14978: medição eletrônica de gás - Computadores de vazão**. 1 ed. Rio de Janeiro. ABNT, 2008.

———. **NBR 15614: rinologia - análise olfativa no gás natural**. 2008b. 1 ed. Rio de Janeiro. ABNT, 2008.

———. **NBR 15616: odoração do gás natural canalizado**. 2008c. 1 ed. Rio de Janeiro. ABNT, 2008.

BRASIL. Lei n. 9.478/97 “Lei do Petróleo”. **Diário Oficial da União**. Brasília, 7 ago. 1997.

DELMÉE, Gérald J. **Manual de medição de vazão**. 3ª ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda. 2003.

EDC. Equipamentos de Controle Comercial Ltda. **NJEX 7300G - instruções e manual de operação**. 2001.

FOSSA, Alberto J. **Normatização e regulamentação aplicadas à distribuição do gás natural**. Brasília: SENAI, 2010.

MARCONI, Marina de A.; LAKATOS, Eva M. **Fundamentos de metodologia científica**. 7ª ed. rev. São Paulo: Atlas, 2010.

MERCURY INSTRUMENTS. **Operators guide for Mercury instrument Mercor Mini-AT electronic volume corrector**. Mercury Instruments, 2008.

MONTEIRO, Jorge V. F.; SILVA, Roberto N. **Gás natural aplicado à indústria e grandes comércios**. São Paulo: Blucher, 2010.

VIEIRA, Petronio L. et al. **Gás natural: benefícios ambientais no Estado da Bahia**. Salvador: Solisluna Design e Editora, 2005.

VILLAJULCA, José C.; **Flujo: medidores de area variable, magnéticos, turbina, vortice y flujo total**. Disponível em:  
<<http://www.instrumentacionycontrol.net/politica-privacidad-y-reembolso/item/92-flujo-medidores-de-area-variable-magn%C3%A9ticos-turbina-vortice-y-flujo-total.html>>. Acesso em: 15 ago. 2014.