

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
PROJETO DE GRADUAÇÃO**

**LUÍSA DIAS BARBOSA ALVES**

**SISTEMA SUPERVISÓRIO POR LABVIEW PARA O  
CONTROLE DE UM TUBO DE PITOT EM UMA  
TUBULAÇÃO DE ESCOAMENTO DE FLUIDO**

VITÓRIA – ES  
DEZ/2014

LUÍSA DIAS BARBOSA ALVES

**SISTEMA SUPERVISÓRIO POR LABVIEW PARA O CONTROLE DE  
UM TUBO DE PITOT EM UMA TUBULAÇÃO DE ESCOAMENTO DE  
FLUIDO**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Luísa Dias Barbosa Alves**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Mattedi

À minha família, minha base em qualquer realização.

Ao Senhor, nosso Deus, que me capacitou e me deu sabedoria, estando sempre ao meu lado.

Ao Prof. Dr. Alessandro Mattedi por todo apoio e conhecimentos transmitidos. Pela orientação, pelas diretrizes e permanente incentivo, muito obrigada!

Aos meus pais e minha irmã, pelo incentivo e torcida para o sucesso deste momento.

Ao Bernardo Ramos, namorado, companheiro, amigo, pelo apoio e grande ajuda neste trabalho.

Ao Vitor Roriz, companheiro neste projeto e responsável pelo acionamento dos equipamentos e pela comunicação sem fio, muito obrigada! Você foi peça fundamental na realização deste projeto.

## RESUMO

Este trabalho propõe a implementação de um sistema de monitoramento de vazão de escoamento de um fluido em ambiente LabVIEW. O sistema é formado por um supervisor criado com o auxílio do software LabVIEW com o controle de posição de um tubo de Pitot através de um motor de passo. Os dados do transmissor de vazão são enviados para uma planilha Excel, criando-se assim um *datalog*. O principal fluido a ser utilizado será o ar atmosférico, podendo também ser substituído por outros gases, como, por exemplo, o CO<sub>2</sub>. A aplicação do projeto de supervisor será a de facilitar aos alunos de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Espírito Santo a coletar dados do sistema do Laboratório de Máquinas de Fluxo com maior precisão e qualidade do que é realizado no presente momento, o modo manual de calibração do sistema.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Elementos que compõem o sistema .....                            | 14 |
| Figura 2 – Estrutura física do tubo de Pitot e motor de passo .....         | 16 |
| Figura 3 – Princípio de funcionamento do tubo de Pitot .....                | 17 |
| Figura 4 – Transmissor de pressão diferencial .....                         | 18 |
| Figura 5 – Motor de passo .....                                             | 19 |
| Figura 6 – <i>Easydriver</i> .....                                          | 20 |
| Figura 7 – Arduino Mega .....                                               | 21 |
| Figura 8 – XBee.....                                                        | 21 |
| Figura 9 – Sensor de fim de curso .....                                     | 22 |
| Figura 10 – Painel frontal do LabVIEW.....                                  | 24 |
| Figura 11 – Diagrama de blocos do LabVIEW .....                             | 25 |
| Figura 12 – Placa de aquisição de dados NI9203 .....                        | 27 |
| Figura 13 – Chassi NI cDAQ-9188 .....                                       | 27 |
| Figura 14 – Interface do sistema supervisorio com o usuário .....           | 29 |
| Figura 15 – Diagrama de blocos .....                                        | 30 |
| Figura 16 – Trecho de código para origem.....                               | 31 |
| Figura 17 – Trecho de código para o modo Manual.....                        | 32 |
| Figura 18 – Trecho de código para o modo de operação Manual .....           | 33 |
| Figura 19 – Trecho de código para o modo de operação Semi-automático .....  | 33 |
| Figura 20 – Trecho de código para o modo de operação Automático .....       | 34 |
| Figura 21 – Trecho de código para <i>array</i> de posições.....             | 35 |
| Figura 22 – Trecho de código para situação Ocupado .....                    | 36 |
| Figura 23 – Trecho de código para a situação PPosição .....                 | 36 |
| Figura 24 – Trecho de código para a situação Medindo.....                   | 37 |
| Figura 25 – Trecho de código para a situação Pronto .....                   | 38 |
| Figura 26 – Pontos de Medição .....                                         | 42 |
| Figura 27 – Supervisorio em funcionamento para o modo Manual .....          | 43 |
| Figura 28 – Supervisorio em funcionamento para o modo Semi-automático ..... | 44 |
| Figura 29 – Supervisorio em funcionamento para o modo Automático.....       | 45 |
| Figura 30 – Planilha de Excel com dados de medições de teste.....           | 46 |

## **LISTA DE TABELAS**

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Posições relativas à distância da parede da tubulação .....                  | 41 |
| Tabela 2 – Pontos de medição calculados para tubulação de diâmetro igual a 180 mm ..... | 42 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|           |                                                            |
|-----------|------------------------------------------------------------|
| DEM       | Departamento de Engenharia Mecânica                        |
| IDE       | <i>Integrated Development Environment</i>                  |
| LabMaqFlu | Laboratório de Máquinas de Fluxo                           |
| LabVIEW   | <i>Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench</i> |
| NI        | <i>National Instruments</i>                                |
| SCADA     | <i>Supervisory Control &amp; Data Acquisition Systems</i>  |
| UFES      | Universidade Federal do Espírito Santo                     |
| VI        | <i>Virtual Instrument</i>                                  |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|            |                         |
|------------|-------------------------|
| $\Delta P$ | Pressão dinâmica        |
| P1         | Pressão total medida    |
| P2         | Pressão estática medida |

# SUMÁRIO

|          |                                                       |           |
|----------|-------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                               | <b>11</b> |
| <b>2</b> | <b>DESCRIÇÃO DO PROCESSO E RECURSOS .....</b>         | <b>13</b> |
| 2.1      | Sistemas Supervisórios e o Controle de Processos..... | 13        |
| 2.2      | Descrição do Processo .....                           | 14        |
| 2.3      | Componentes do Sistema .....                          | 16        |
| 2.3.1    | Medidor de Pressão do Tipo Tubo de Pitot.....         | 16        |
| 2.3.2    | Transmissor de Pressão Diferencial .....              | 18        |
| 2.3.3    | Motor de Passo e <i>Easydriver</i> .....              | 19        |
| 2.3.4    | Arduino.....                                          | 20        |
| 2.3.5    | XBee .....                                            | 21        |
| 2.3.6    | Sensor de Fim de Curso.....                           | 22        |
| 2.4      | Software.....                                         | 22        |
| 2.4.1    | <i>National Instruments</i> .....                     | 22        |
| 2.4.2    | LabVIEW .....                                         | 23        |
| 2.4.3    | <i>Virtual Instruments</i> .....                      | 23        |
| 2.4.3.1  | Painel Frontal.....                                   | 24        |
| 2.4.3.2  | Diagrama de Blocos .....                              | 25        |
| 2.4.4    | SubVIs .....                                          | 25        |
| 2.5      | Hardware de Aquisição de dados .....                  | 26        |
| 2.5.1    | Placa de Aquisição de Dados – NI9203 .....            | 26        |
| 2.5.2    | Chassi – NI cDAQ-9188 .....                           | 27        |
| 2.6      | Conclusão .....                                       | 28        |
| <b>3</b> | <b>SOLUÇÃO IMPLEMENTADA.....</b>                      | <b>29</b> |
| 3.1      | Código do Diagrama de Blocos.....                     | 30        |
| 3.2      | Utilização.....                                       | 38        |
| 3.2.1    | Manual.....                                           | 38        |
| 3.2.2    | Semi-automático.....                                  | 39        |
| 3.2.3    | Automático .....                                      | 39        |
| 3.2.4    | Norma ISO/FDIS 3966:2008(E) .....                     | 40        |
| 3.3      | Testes .....                                          | 43        |

|                                               |           |
|-----------------------------------------------|-----------|
| 3.3.1 Teste da Origem .....                   | 43        |
| 3.3.2 Teste do Modo Manual.....               | 43        |
| 3.3.3 Teste do Modo Semi-automático .....     | 44        |
| 3.3.4 Teste do Modo Automático .....          | 44        |
| 3.3.5 Teste da Função Salvar em Arquivo ..... | 45        |
| 3.4 Conclusão .....                           | 46        |
| <b>4 CONCLUSÃO.....</b>                       | <b>47</b> |
| <b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>     | <b>48</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Com o advento da tecnologia, muitos processos que antes eram controlados e regulados de modo manual, são agora automatizados, gerando maior produtividade e aumentando a precisão e a qualidade dos processos. Porém, o homem ainda é o cerne da inteligência por trás de toda tecnologia, e é de fundamental importância que ele possa monitorar e, muitas vezes, interferir nos processos em andamento.

Os instrumentos utilizados para o controle de processos muito evoluíram desde o seu surgimento, na década de 1940. Inicialmente o controle era realizado localmente nas atividades dos processos, onde os operadores abriam e fechavam válvulas de modo manual. Para aumentar a segurança dos operadores e realizar a monitoração de vários processos, foi criada a sala de controle de processo centralizada. Os instrumentos utilizados nas malhas de controle, porém, eram todos pneumáticos, podendo provocar sérias falhas em casos de trincas ou vazamentos nas tubulações, podendo até mesmo paralisar toda a produção.

A partir da década de 1950, pesquisas já eram feitas sobre instrumentos eletrônicos, que começaram a ser produzidos em meados dos anos 1970. Com a migração do sistema pneumático para o eletrônico, houve grande queda de erros e maior robustez das malhas de controle. Ainda assim, o surgimento da computação foi o que trouxe os maiores benefícios para os sistemas de controle, permitindo que um grande número de malhas de controle fossem monitoradas de um mesmo dispositivo (1).

Para que a monitoração e controle pudessem ser realizados através da tela de um computador, interfaces homem-máquina foram projetadas, facilitando essa comunicação. Estas interfaces recebem o nome de supervisórios, e podem tanto enviar comandos ao sistema monitorado como coletar dados para análise do processo, mesmo a quilômetros de distância.

Diante de tantos avanços na tecnologia, do baixo custo para a implantação deste tipo de sistema e da necessidade dos alunos de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Espírito Santo no campus de Goiabeiras de realizar medições de pressão de um fluido em diversas alturas de uma tubulação, foi desenvolvido um sistema supervisório para aprimorar esse processo. O supervisório, implementado através da plataforma LabVIEW, foi

desenvolvido para controlar a altura do medidor de pressão do tipo tubo de Pitot dentro da tubulação e coletar os dados de pressão de maneira rápida e precisa.

Foram desenvolvidos três métodos de operação, os quais foram nomeados como Manual, Semi-automático e Automático. Os três modos de operação diferem entre si no nível de interferência do homem na realização do processo de medição, variando de total a nenhuma interferência.

## 2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO E RECURSOS

Com o surgimento dos computadores e da grande quantidade de processos automatizados, torna-se atrativa a utilização de sistemas do tipo SCADA (*Supervisory Control & Data Acquisition Systems*), que permitem o acompanhamento e o controle de processos de maneira segura e precisa de forma *online* (2). Sendo assim, é de grande interesse a manipulação de dados através do desenvolvimento de supervisórios adequados aos requisitos específicos de cada sistema ou processo.

### 2.1 Sistemas Supervisórios e o Controle de Processos

Os sistemas de automação industrial modernos, devido ao seu alto nível de complexidade, tornam inviáveis o uso de controles manuais, operados diretamente no processo. Para suprir essa crescente demanda, um software, conhecido como supervisório, faz-se necessário, pois o mesmo permite a operação e visualização dos processos através de telas gráficas desenvolvidas para este fim.

De forma simplificada, um sistema supervisório tem por objetivo a captura e o armazenamento em um banco de dados de informações do processo, medidas através de sensores instalados na planta do sistema (1) e o envio de comandos para o correto funcionamento do processo. Desta forma, o projeto de um sistema supervisório consiste na elaboração de telas gráficas, de acordo com o processo a ser controlado, onde os comandos são configurados de forma a indicar a situação de operação da planta (2).

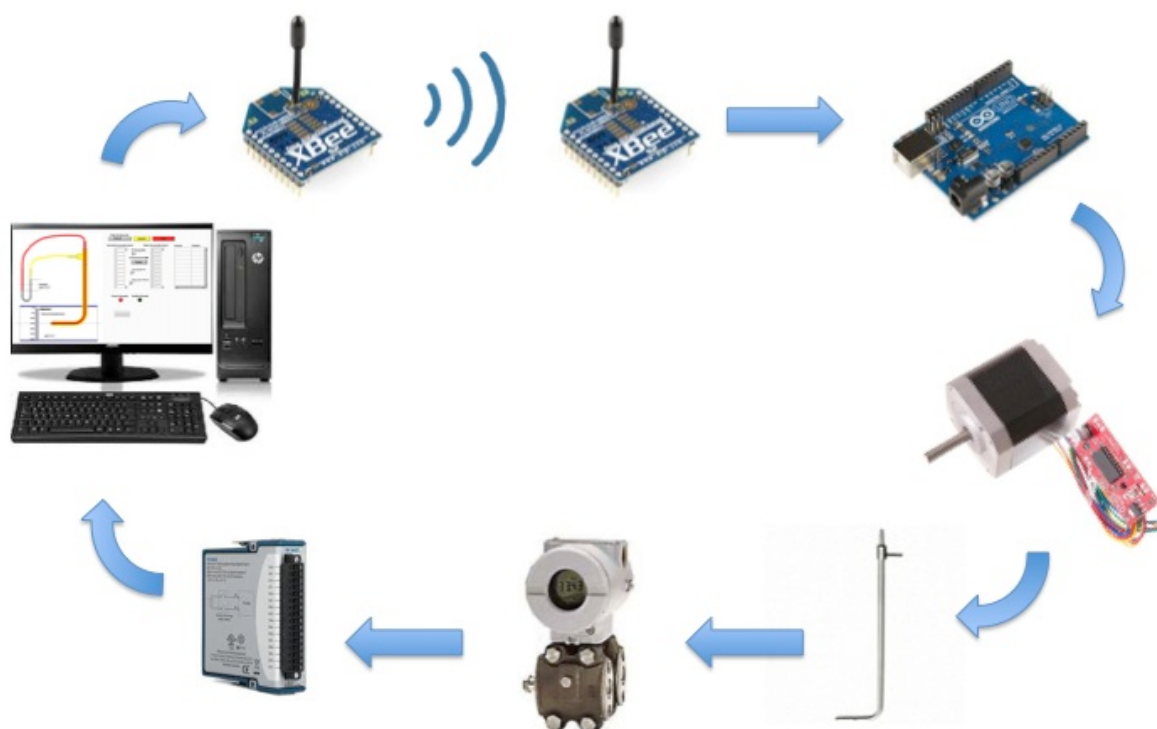
Para cada processo em que se queira inserir sistemas supervisórios, há a necessidade de um estudo aprofundado das características específicas do processo em questão. Isso torna cada projeto de supervisório um sistema único, podendo apenas ser aproveitada a lógica de construção para sistemas de mesma área de conhecimento. Assim, torna-se necessária, portanto, uma adequação às características do sistema que se quer controlar e monitorar.

## 2.2 Descrição do Processo

O processo pode ser explicado de modo geral como um sistema capaz de medir a pressão de um fluido em diversas posições, podendo mapear o perfil do escoamento deste fluido, dentro de uma tubulação. Os comandos de deslocamento do medidor de pressão, bem como as leituras das medições realizadas, podem ser controlados remotamente através do sistema supervisório desenvolvido neste projeto.

O funcionamento do processo que será monitorado pode ser explicado com o auxílio da Figura 1, que ilustra a interconexão dos principais elementos que compõem o sistema. Nas seções subsequentes estarão os conceitos de cada elemento da figura, acompanhados de breve explicação da função que desempenha no sistema.

Figura 1 – Elementos que compõem o sistema



Fonte: Produção do próprio autor

O sistema supervisório, que será o ponto de partida do sistema, ao ser iniciado, aguarda até que o usuário escolha um modo de operação e comece a monitorar o sistema. São três as opções disponíveis, podendo ser Manual, Automática e Semi-automática. Ao ser iniciado o modo Manual, o controle é feito diretamente na planta, e o sistema supervisório fica

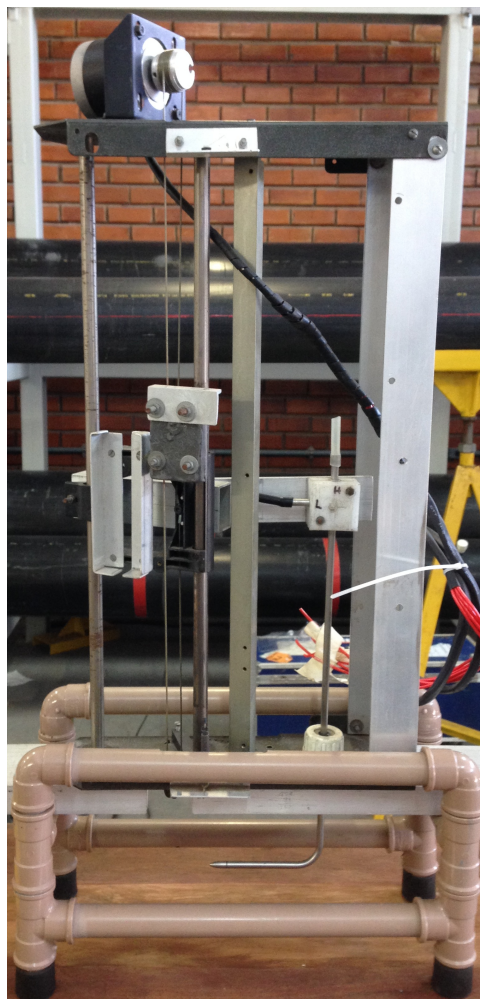
desabilitado até que um comando seja enviado para que o mesmo assuma novamente o controle do sistema. Para o modo Automático, é necessário apenas o comando para iniciar a varredura, e o sistema realiza as medições de acordo com especificações previamente determinadas. No modo Semi-automático, onde o usuário controla remotamente o processo, são necessárias entradas de dados, como posições desejadas, número de medições por posição, entre outros.

Ao ser inserido no sistema supervisor o conjunto de dados necessários ao início da atuação do sistema, um sinal é enviado ao Arduino, para que o mesmo controle a movimentação do motor, conforme mostra a Figura 1. Para o envio desses dados, foram utilizados aparelhos de comunicação sem fio, chamados de XBee. Os mesmos foram necessários devido à distância entre a planta e a sala de controle.

Após receber os sinais transmitidos através do XBee, o Arduino, com o auxílio de um *Easydriver*, realiza o controle do motor, enviando comandos em forma de pulsos elétricos. A cada pulso, o motor responde dando um passo, controlando assim o ângulo de rotação do eixo do motor.

O sistema de medição de pressão do fluido está acoplado ao motor de passo. Sendo assim, o motor de passo, ao girar, varia verticalmente o posicionamento do medidor de pressão dentro da tubulação utilizada. A estrutura física desta parte do sistema pode ser visualizada na Figura 2, onde a estrutura foi desacoplada da tubulação para fins de visualização do medidor de pressão diferencial, um tubo de Pitot.

Figura 2 – Estrutura física do tubo de Pitot e motor de passo



Fonte: Produção do próprio autor

A leitura dos dados de pressão do tubo de Pitot é realizada através de um transmissor de pressão diferencial. Este transmissor gera sinais de 4 a 20 mA, que são enviados a um módulo de aquisição de dados da *National Instruments*. Este módulo está conectado ao computador através de um chassi de mesma marca, e transfere os sinais lidos para o sistema supervisorio. De posse dos dados de medição, o sistema supervisorio encerra o ciclo do sistema, podendo tanto exibi-los na tela quanto salvá-los em arquivo para análise posterior pelo usuário.

## 2.3 Componentes do Sistema

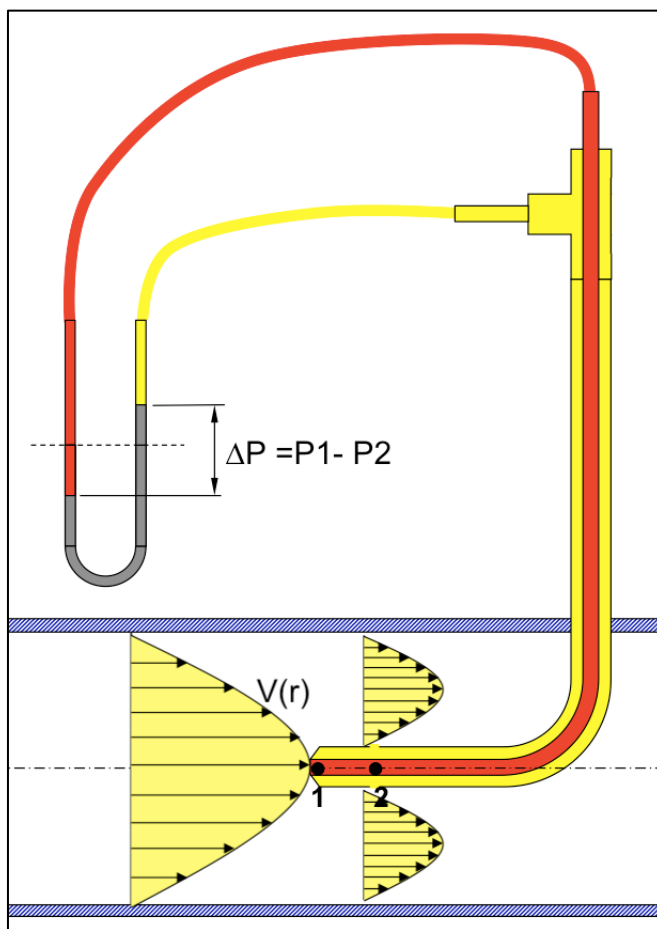
### 2.3.1 Medidor de Pressão do Tipo Tubo de Pitot

O tubo de Pitot é um instrumento capaz de determinar a pressão dinâmica de um fluido a partir da diferença medida entre a pressão total e a pressão estática do fluido escoado,

transversalmente à direção do escoamento. Assim, é possível determinar o perfil de velocidade de escoamento do fluido, bem como fazer o levantamento das características que o compõe (3).

O princípio de funcionamento prático do tubo de Pitot está ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Princípio de funcionamento do tubo de Pitot



Fonte: Material didático do Prof. Dr. Rogério Ramos

Através da figura acima é possível identificar os dois pontos de entrada das medições. O ponto 1 mede a pressão total do escoamento do fluido e, como mostra a figura, é o orifício voltado diretamente para o fluxo. O ponto 2 mede a pressão estática do fluido e é composto por orifícios feitos nas laterais do tubo de Pitot.

A pressão dinâmica ( $\Delta P$ ) é o valor desejado quando se faz uma medição utilizando o tubo de Pitot, e pode ser calculada como a diferença das pressões medidas no ponto 1 (P1) e no ponto 2 (P2). A fórmula para a obtenção da pressão dinâmica pode ser vista abaixo.

$$\Delta P = P1 - P2 \quad \text{Equação (1)}$$

### 2.3.2 Transmissor de Pressão Diferencial

O transmissor de pressão diferencial é um equipamento capaz de interpretar as medições realizadas pelo tubo de Pitot através da leitura de capacitância, resultando em uma leitura precisa da pressão do fluido dentro da tubulação. Além disso, o transmissor envia estes sinais ao sistema de aquisição de dados, através de sinais de corrente de 4 a 20 mA. O transmissor de pressão diferencial pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 – Transmissor de pressão diferencial



Fonte: Produção do próprio autor

Neste projeto foi utilizado o transmissor de pressão diferencial modelo Smar LD301.

### 2.3.3 Motor de Passo e *Easydriver*

O motor de passo é um tipo de motor elétrico utilizado quando se deseja precisão no posicionamento de determinada carga. De acordo com (4), os motores de passo são dispositivos eletromecânicos que realizam a conversão de pulsos elétricos em movimentos mecânicos, gerando pequenas variações angulares.

Os “passos”, assim denominados por representarem os incrementos angulares de rotação do motor, são controlados através da sequência em que os pulsos elétricos são aplicados nos terminais do motor. Esta sequência reflete diretamente na direção de rotação do motor de passo, podendo assim ser controlado com precisão.

A Figura 5 mostra o motor de passo 23LM-K005-20, modelo utilizado neste projeto.

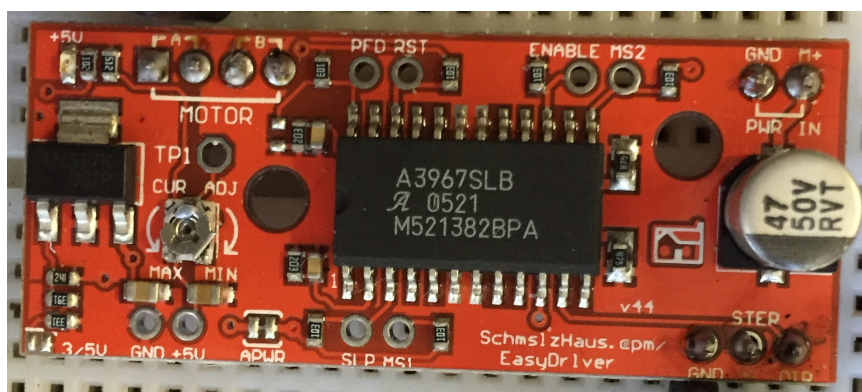
Figura 5 – Motor de passo



Fonte: Produção do próprio autor

O motivo da escolha deste tipo de motor foi a precisão que é possível alcançar com o mesmo. Neste projeto, o motor tem papel fundamental, pois é necessário para movimentar e posicionar o tubo de Pitot para a realização das medições. Para possibilitar o uso deste motor, foi utilizado o *Easydriver* modelo A3967SLB, que é uma placa que realiza o controle do motor, com capacidade de saída de 30V e  $\pm 750$  mA (5). A Figura 6 mostra o *Easydriver* utilizado no projeto.

Figura 6 – *Easydriver*



Fonte: Produção do próprio autor

### 2.3.4 Arduino

O Arduino é uma plataforma criada para a construção de projetos eletrônicos. Consiste em uma placa de circuito físico programável, contendo um microcontrolador, além de uma parte de software, ou IDE (*Integrated Development Environment*), que é executada no computador e serve para programar e fazer o upload do código para a placa física.

Todas as ferramentas de software que complementam essa plataforma são *open source*, ou seja, as licenças são gratuitas e podem ser utilizadas livremente. Diversas bibliotecas de funções estão disponíveis para download gratuito por qualquer pessoa.

A Figura 7 mostra o Arduino Mega, modelo utilizado neste projeto.

Figura 7 – Arduino Mega



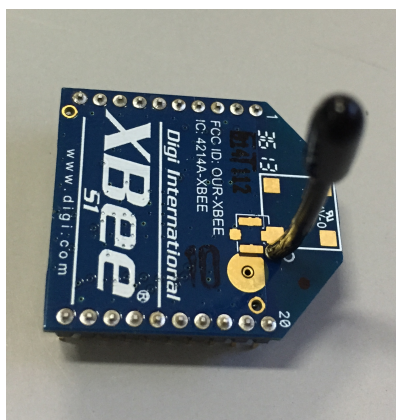
Fonte: Produção do próprio autor

Neste projeto, o Arduino é utilizado para controlar o motor de passo. É ele quem envia os sinais de comando para o motor a cada passo que o mesmo deve dar. É também papel do Arduino informar ao sistema supervisorio quando o tubo de Pitot já se encontra na posição desejada e as medições já podem ser realizadas.

### 2.3.5 XBee

O XBee é um dispositivo criado para a comunicação sem fio entre dispositivos, de baixa potência e baixo custo. Devido a essa vantagem econômica, o XBee é largamente utilizado em projetos de controle sem fio e aplicações de monitoramento. A Figura 8 mostra este dispositivo.

Figura 8 – XBee



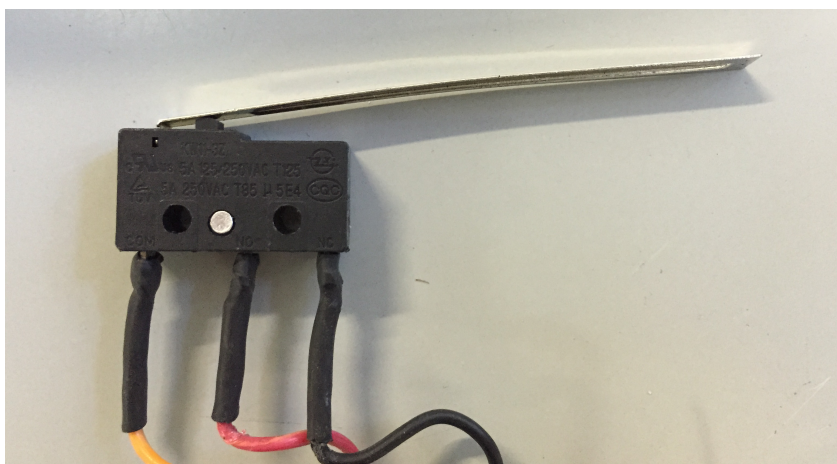
Fonte: Produção do próprio autor

O XBee foi utilizado neste projeto devido à distância que existe entre o computador e o sistema, ambos localizados no LabMaqFlu, porém em ambientes diferentes.

### 2.3.6 Sensor de Fim de Curso

O sensor de fim de curso é um sensor do tipo eletromecânico. Este possui uma chave mecânica que interrompe a operação quando acionada, sendo muito utilizado em atividades relacionadas ao posicionamento de objetos e movimentação de diversos tipos de carga. O modelo utilizado neste projeto é o KW11-3Z, e pode ser visualizado na Figura 9.

Figura 9 – Sensor de fim de curso



Fonte: Produção do próprio autor

O sensor de fim de curso não aparece na Figura 1 pois não é parte principal no funcionamento do projeto, porém é muito importante na proteção do sistema de medição, impedindo que o motor desloque o tubo de Pitot até posições onde ele possa colidir com as laterais da tubulação onde o sistema estiver instalado. Além disso, é o sensor de fim de curso que define o ponto chamado de “origem” do sistema, considerado o ponto de referência para todas as demais posições assumidas pelo sistema.

## 2.4 Software

### 2.4.1 *National Instruments*

A *National Instruments*, ou NI, é uma empresa multinacional que atua no desenvolvimento de *hardwares* e *softwares* para aquisição de dados, processamento de sinais e controle de processos. Fundada em 1976 com sede em Austin, Texas, a empresa vem crescendo e em suas

expansões no mercado internacional, hoje possui escritórios em aproximadamente cinquenta países, inclusive no Brasil, tendo seu escritório sede brasileiro em São Paulo (6).

Na área de softwares, a NI é bastante conhecida devido ao LabVIEW, software desenvolvido pela empresa que possibilita a interface com os hardwares de aquisição de dados e envio de comandos que a própria NI produz.

### **2.4.2 LabVIEW**

O LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) da NI, é um ambiente de desenvolvimento de aplicativos através de programação gráfica, chamada linguagem “G”. Sua forma gráfica de programação é altamente produtiva na criação de sistemas supervisórios, facilitando a implementação de grandes e complexas aplicações para diversas finalidades.

Para a monitoração e controle de processos, o LabVIEW permite uma interface com hardwares de aquisição de dados e de envio de sinais de controle. A NI fabrica estes tipos de hardwares, garantindo a compatibilidade com a programação feita em LabVIEW e facilitando a comunicação do sistema supervisório com o processo que se deseja monitorar.

A plataforma LabVIEW permite a construção de aplicativos com interfaces gráficas para a interação com o usuário, permitindo que pessoas que não possuem conhecimento no software implementado possam utilizá-lo de maneira simples, bastando apenas conhecer o processo a ser controlado.

A base do funcionamento dos programas desenvolvidos em LabVIEW são os chamados *Virtual Instruments* (VIs), que englobam tanto a interface gráfica com o usuário, quanto a programação em blocos, ou seja, a estrutura lógica que compõe o algoritmo do software.

### **2.4.3 Virtual Instruments**

Os *Virtual Instruments*, ou VI, são programas em LabVIEW que contêm a interface e toda a lógica de programação referente a uma aplicação, podendo possuir entradas e saídas para que sua função possa ser realizada. Os VIs podem variar desde simples cálculos matemáticos até

complexos processamentos de dados, provendo diferentes funcionalidades e permitindo a criação de soluções para diversas aplicações.

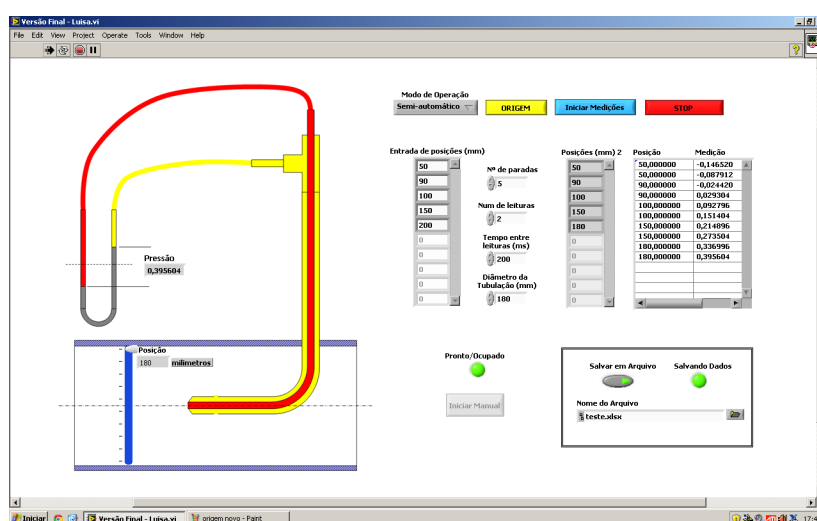
Um VI é estruturado através de sua arquitetura composta de dois elementos, o painel frontal e o diagrama de blocos. O painel frontal é a interface do sistema com o operador do processo, contendo botões de comando, gráficos e indicadores do processo. Já o diagrama de blocos consiste em toda a lógica que está por trás dos comandos desta interface gráfica do sistema supervisão.

### 2.4.3.1 Painel Frontal

O painel frontal é o elemento do LabVIEW que faz a interface com o usuário durante o monitoramento e o controle de processos. A apresentação gráfica no painel frontal facilita o acompanhamento dos processos e aumenta a produtividade na utilização, pois exibe os dados de maneira simples e objetiva, facilitando a leitura de dados e a tomada de decisão.

Esta interface possibilita a inserção de valores durante o funcionamento do processo externo, sendo possível, deste modo, fazer a verificação dos efeitos e das saídas diante das novas condições de operação. A Figura 10 apresenta a interface do painel frontal.

Figura 10 – Painel frontal do LabVIEW

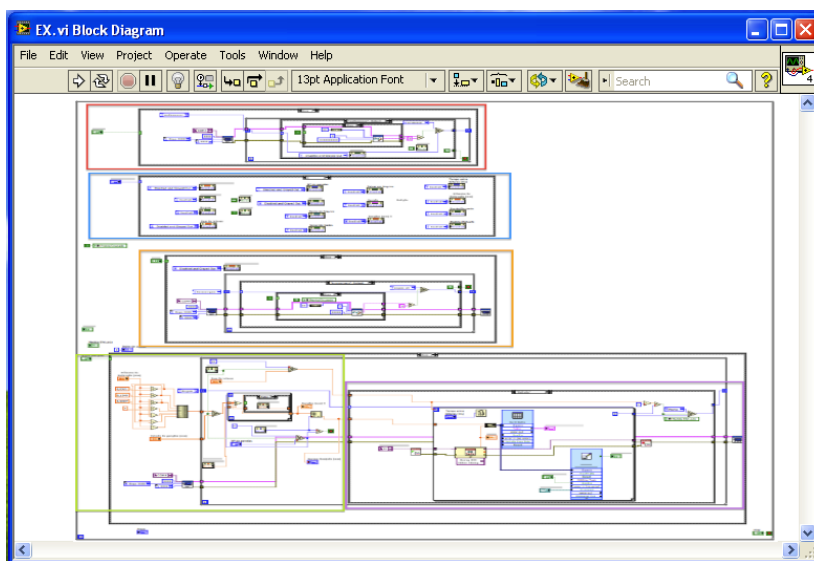


Fonte: Produção do próprio autor.

### 2.4.3.2 Diagrama de Blocos

O diagrama de blocos é o elemento do LabVIEW onde é realizada a programação fonte na construção da interface. Nele são associados todos os elementos que constituem o painel frontal, além de demais elementos que formam a lógica de funcionamento do sistema. A Figura 11 mostra a interface do diagrama de blocos.

Figura 11 – Diagrama de blocos do LabVIEW



Fonte: Produção do próprio autor.

Cada um dos componentes do diagrama de blocos é conectado através de linhas que conduzem os sinais, permitindo que a saída de um componente possa ser conectada à entrada do componente seguinte, construindo uma rede de funções que formam a lógica de programação da aplicação que se queira implementar.

### 2.4.4 SubVIs

Os SubVIs são VIs controlados por um VI principal. São programas inseridos dentro da estrutura de um programa maior, que faz uso de suas funcionalidades para a execução de uma parte de seu processo. SubVIs são largamente utilizados na simplificação de complexas lógicas de programação gráfica, visto que os mesmos organizam os códigos, facilitando o entendimento de grandes algoritmos.

O método de programação em LabVIEW consiste na interconexão de diferentes SubVIs através de linhas de ligação, definindo assim um fluxo de dados. A execução de cada SubVI se inicia quando todos os seus dados de entrada estão disponíveis, e após o processamento, os dados resultantes de sua execução ficam disponíveis em suas saídas. Desta forma, a ordem de execução de um programa em LabVIEW fica estruturada em função do fluxo de dados, onde cada tarefa será executada de acordo com a disponibilidade dos dados necessários à sua execução.

## **2.5 Hardware de Aquisição de dados**

Os dados de pressão medidos através do tubo de Pitot necessitam de um meio pelo qual possam ser enviados para o computador, para que possam ser analisados e armazenados através do sistema supervisorio. Para isso, hardwares de aquisição de dados são adicionados ao sistema e realizam a conversão A/D e a transferência dessas informações. Neste projeto os sinais de pressão são dados analógicos.

Para a coleta das informações referentes ao processo faz-se necessário o uso de hardware compatível com o software utilizado. Deste modo, optou-se pela utilização da placa de aquisição de dados NI9203, da NI. Para o acoplamento da placa NI9203 foi utilizado o chassi NI cDAQ-9188, também da NI.

### **2.5.1 Placa de Aquisição de Dados – NI9203**

A placa de aquisição de dados NI9203 é um módulo de aquisição de sinais analógicos de corrente, com faixas de entrada programáveis de  $\pm 20$  mA, 0 a 20 mA. Possui 8 canais de entrada, taxa de amostragem agregada de 200 kS/s, resolução de 16 bits e faixa de temperatura variando de -40 a 70 °C (7).

Figura 12 – Placa de aquisição de dados NI9203



Fonte: Site da National Instruments

### 2.5.2 Chassi – NI cDAQ-9188

Foi utilizado o chassi NI cDAQ-9188 para a acomodação da placa de aquisição. Este possui 8 slots para placas de aquisição, permite medições em até 256 canais, permite execução simultânea de até 7 operações e sua conexão é feita através de porta ethernet (8).

Figura 13 – Chassi NI cDAQ-9188



Fonte: Site da National Instruments

## **2.6 Conclusão**

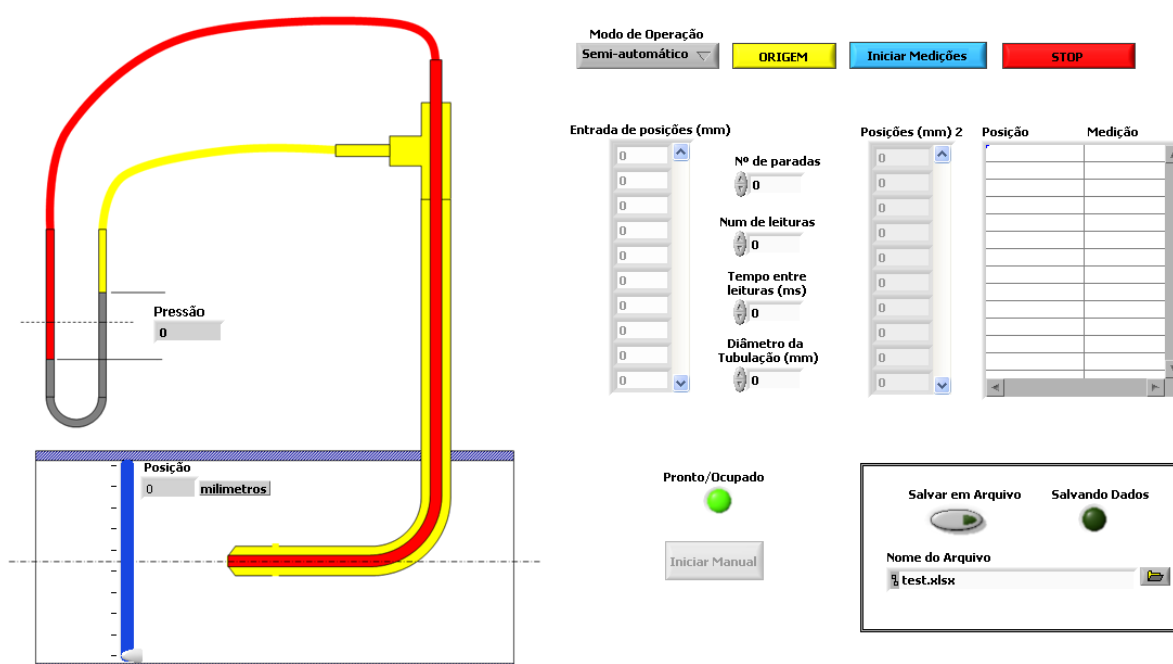
Neste capítulo foi apresentado cada componente do sistema e seu papel no funcionamento do processo. Através destas tecnologias foi possível implementar o sistema supervisor que atua no controle e na monitoração do processo de medição de pressões em diferentes posições da tubulação.

O capítulo subsequente mostra em detalhes a solução implementada para o problema proposto neste projeto, bem como o funcionamento do sistema após a instalação completa de seus componentes e os testes realizados junto ao mesmo.

### 3 SOLUÇÃO IMPLEMENTADA

Diante de todos os recursos disponíveis para a realização desta atividade, o software LabVIEW foi escolhido pela sua facilidade de programação e pelo seu alto desempenho no ramo de sistemas supervisórios. O sistema supervisório desenvolvido em LabVIEW será detalhadamente explicado neste capítulo. A interface com o usuário pode ser encontrada na Figura 14.

Figura 14 – Interface do sistema supervisório com o usuário



Fonte: Produção do próprio autor

A lateral esquerda da tela é dedicada exclusivamente para a ilustração do processo, onde está indicada a posição real onde se encontra o tubo de Pitot dentro da tubulação e o valor de pressão medido de forma online. Apesar de não fazerem parte do funcionamento do supervisório, ilustrações reais do processo são muito importantes para a interpretação do processo, podendo auxiliar em tomadas de decisão e contribuir para o entendimento correto dos valores medidos e dos comandos enviados à planta.

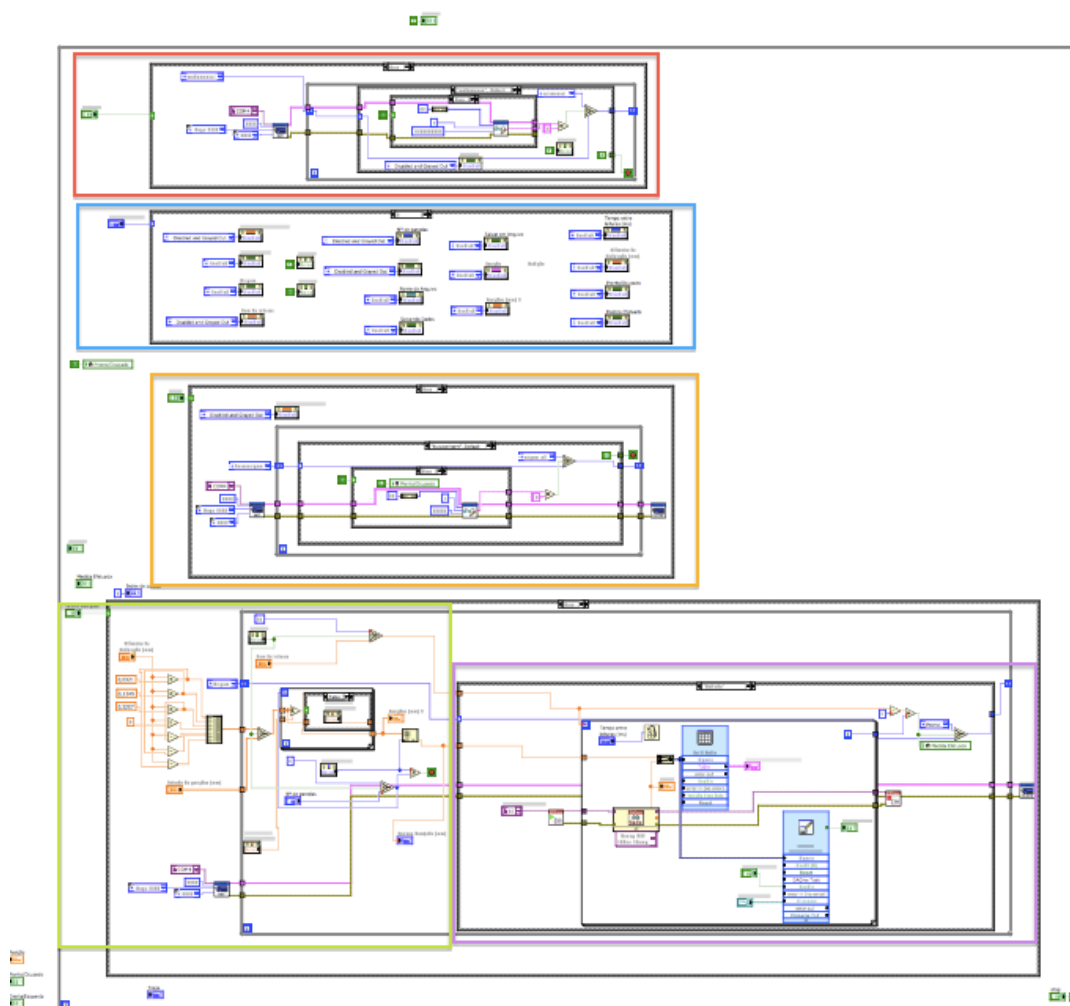
A lateral direita da interface com o usuário é dedicada aos comandos e indicadores do processo. Nela são inseridos valores de posições desejadas, número de medidas a serem realizadas em cada posição inserida, além do tempo que o sistema deve aguardar entre cada

medição realizada. Nesta mesma área da interface são exibidos os valores das leituras de pressão, indicadores de LED que informam a atual situação do sistema (Pronto/Ocupado, Salvando Dados), além das opções de modo de operação, divididas em Manual, Semi-automático e Automático. É dada também a opção de retornar o sistema para a posição de origem, de forma a calibrar novamente o sistema e evitar acúmulo de erros nas medições.

### 3.1 Código do Diagrama de Blocos

É importante a compreensão de que cada informação apresentada na interface com o usuário está relacionada a um conjunto de funções interligadas através de um diagrama de blocos, onde é programada toda a lógica do sistema. A visão geral do diagrama de blocos implementado para este projeto pode ser encontrada na Figura 15.

Figura 15 – Diagrama de blocos



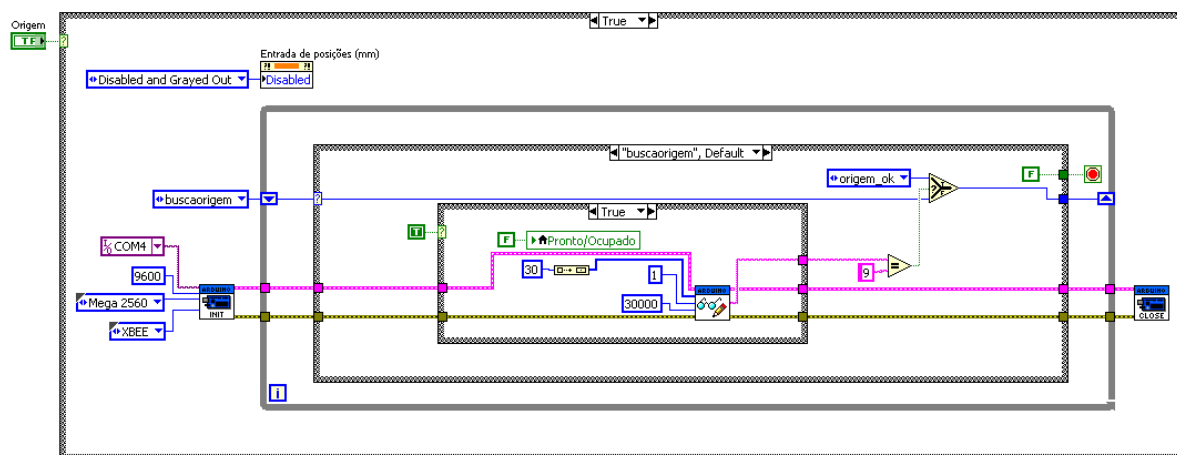
Fonte: Produção do próprio autor

Para facilitar a visualização e o entendimento da lógica de programação utilizada, o diagrama de blocos foi dividido em seções, que serão explicadas separadamente.

A seção em laranja está representada na Figura 16 e é a função implementada para levar o tubo de Pitot para a origem, ou seja, o ponto mais baixo dentro da tubulação que é possível de ser alcançado e que será utilizado como referência para as demais posições calculadas. Este trecho de código é acionado quando o usuário clica no botão “Origem” presente na tela do supervisor. A partir desse momento, a tabela de entrada de posições fica desabilitada, voltando a ser habilitada quando o posicionamento do tubo de Pitot na origem do sistema for concluído.

O sistema inicializa o Arduino e envia um comando, o número 30, indicando que o mesmo pode movimentar o motor na busca da posição de origem. O Arduino envia sinais para a movimentação do motor até que o sensor de fim de curso seja acionado, impedindo a continuação do movimento. A partir deste instante, o Arduino envia um sinal ao supervisor, que neste caso é o número 9, indicando que a posição de origem foi alcançada.

Figura 16 – Trecho de código para origem



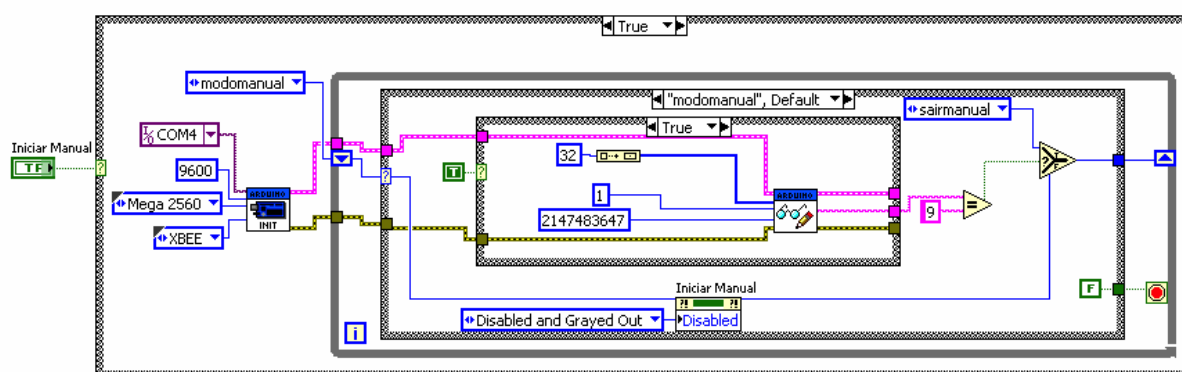
Fonte: Produção do próprio autor.

O trecho de código representado na Figura 17 é somente utilizado para o modo Manual. Neste código, ao ser acionado o botão “Iniciar Manual”, o sistema inicializa o Arduino e envia um sinal que representa que o sistema irá operar no modo manual. Neste caso, o sinal escolhido foi o número 32. Ao receber este número, o Arduino entende que o modo manual foi iniciado,

e assim, o sistema supervisor não possui mais controle sobre a operação e fica em *loop* aguardando um sinal de retorno do Arduino.

Ao ser apertado um botão na planta indicando o fim das operações no modo Manual, o Arduino emite um sinal para o supervisor, que volta a atuar no sistema. Este sinal foi escolhido como um número, no caso, o 9. O sistema compara o valor que recebeu do Arduino com o valor 9, e quando a comparação retorna “True”, o sistema aciona a função “sairmanual”, que finaliza este loop e habilita novamente as funções do sistema.

Figura 17 – Trecho de código para o modo Manual

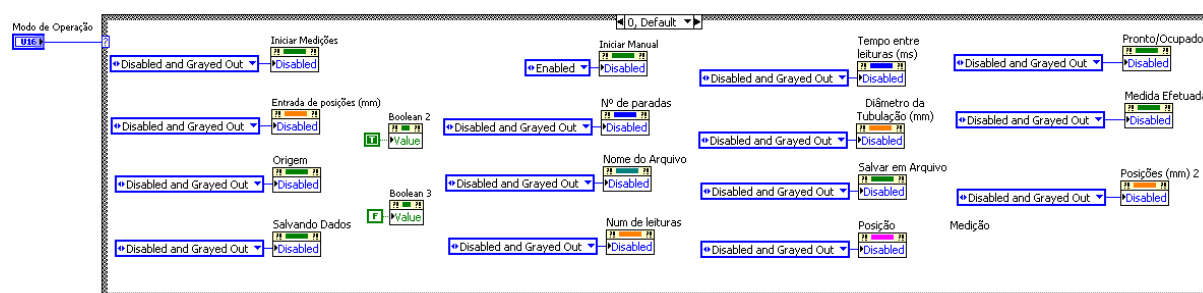


Fonte: Produção do próprio autor.

Na seção em azul, representada pelas Figuras 18, 19 e 20, estão inseridas as funções que caracterizam os diferentes modos de operação do sistema, que são os modos Manual, Automático e Semi-automático. De acordo com o modo selecionado, as opções que o usuário tem disponíveis em tela variam, ficando em cinza quando estão desabilitadas.

Desta maneira, quando o modo Manual está selecionado, como mostra a Figura 18 em “Iniciar Manual”, todos os comandos na tela são desabilitados, ficando disponíveis apenas as opções do botão “Iniciar Manual”, do botão “Stop” para encerrar o uso do programa e da mudança de modo de operação. Neste modo, o botão “Iniciar Manual” começa a piscar para facilitar o entendimento do usuário quanto à utilização do sistema nesta modalidade.

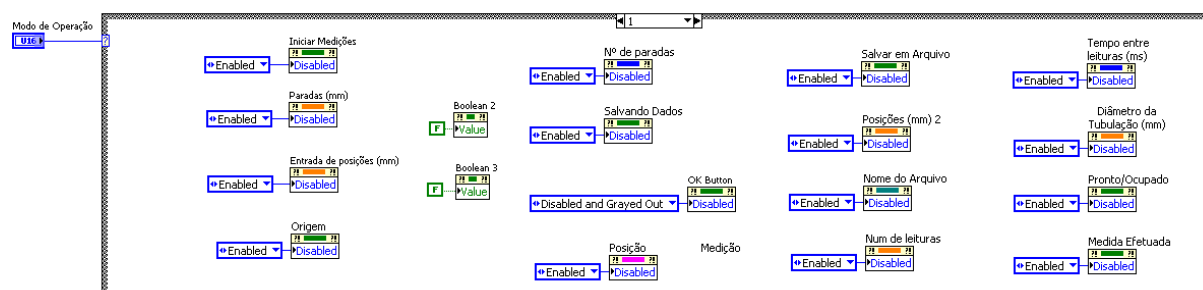
Figura 18 – Trecho de código para o modo de operação Manual



Fonte: Produção do próprio autor

Para o modo Semi-automático, representado na Figura 19, a maioria das funções ficam disponíveis para uso, sendo desabilitadas apenas a opção do botão “Iniciar Manual”. Este modo de operação, considerado o principal, utiliza a maior parte das funções do supervisão devido ao fato de que é através deste que o usuário pode selecionar diferentes posições, diferentes tempos entre leituras e diferentes quantidades de leituras, controlando o sistema remotamente.

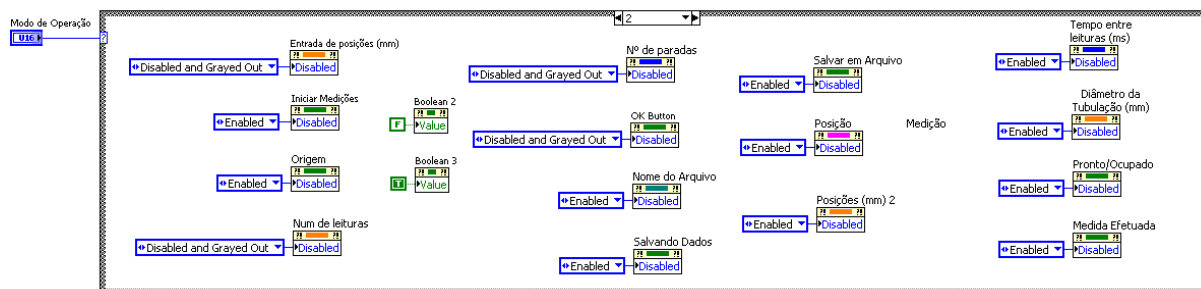
Figura 19 – Trecho de código para o modo de operação Semi-automático



Fonte: Produção do próprio autor

Para o modo Automático, representado na Figura 20, ficam disponíveis as opções do botão “Origem”, do botão “Iniciar Medições”, do botão “Stop” e do botão “Salvar em Arquivo”, além das entradas “Tempo entre Leituras” e “Diâmetro da Tubulação”. Além disso, a tabela de medições é exibida normalmente com as posições predeterminadas e com as medições realizadas.

Figura 20 – Trecho de código para o modo de operação Automático

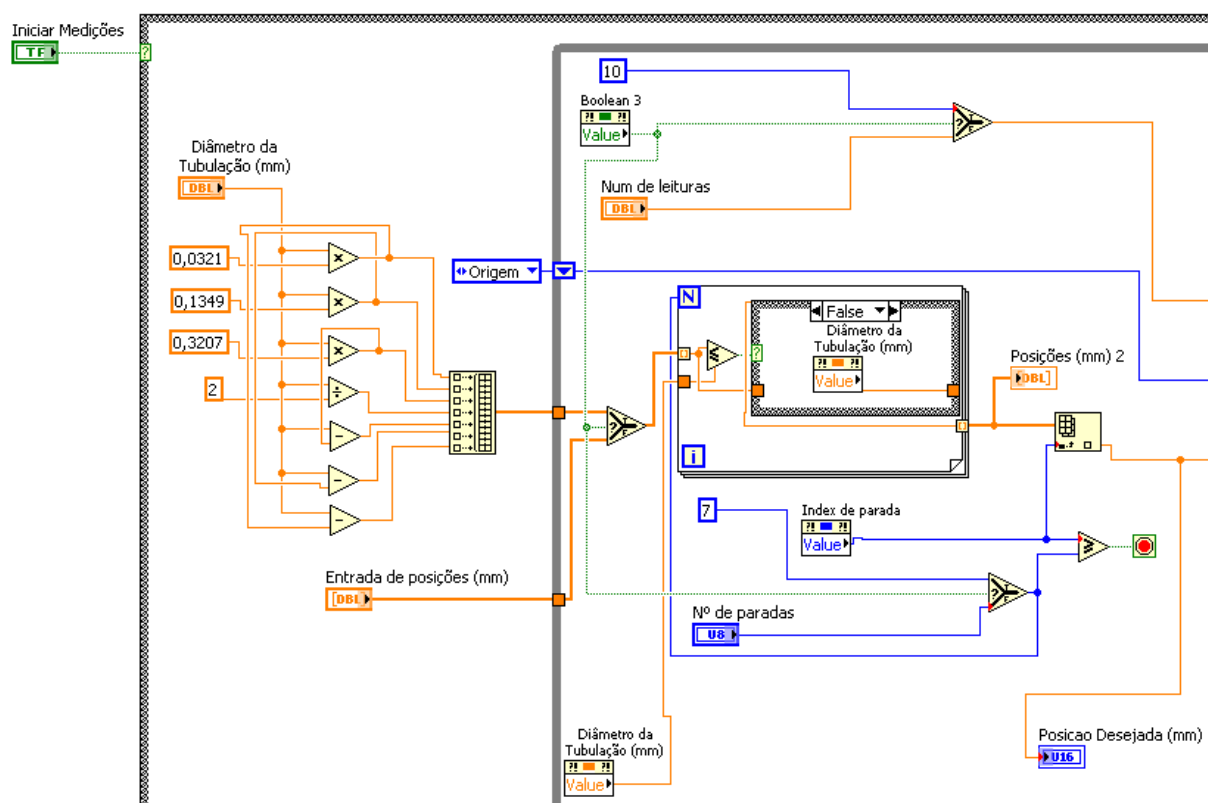


Fonte: Produção do próprio autor

O trecho de código em verde é a base de dados para a realização das medições e está ilustrado na Figura 21. É neste local que o usuário insere valores de posições, número de paradas, número de leituras desejadas por posição, tempo entre leituras de mesma posição, além do diâmetro da tubulação utilizada. As entradas ficam habilitadas de acordo com o modo de operação, assumindo valores predeterminados quando desabilitados para o usuário.

Para as posições que o sistema deve percorrer, o supervisor constrói a matriz de posições. Estas posições podem variar de acordo com o modo de operação do sistema. No modo Semi-automático, as posições serão as inseridas pelo usuário no *array* “Entrada de Posições”. Para evitar que o usuário insira posições maiores do que o diâmetro da tubulação utilizada, o que levaria a colisões do tubo de Pitot nas paredes internas da tubulação, uma rotina de comparação é realizada. O sistema compara o valor da posição inserida com o valor do diâmetro. No caso da posição ser menor ou igual ao diâmetro o sistema valida a posição inserida, caso contrário, o sistema substitui essa posição equivocada pelo valor máximo permitido, ou seja, o próprio diâmetro da tubulação.

Para o modo Automático, o sistema calcula as posições de acordo com as especificações da Norma ISO/FDIS 3966 (9), que define relações entre a distância do tubo de Pitot à parede da tubulação com o diâmetro da mesma. Deste modo, sete pontos são calculados, sendo possível realizar medições em todo o diâmetro da tubulação. O número de medições por ponto neste modo foi definido como 10, permitindo posterior comparação pelo usuário entre os valores medidos, garantindo assim uma medição mais precisa.

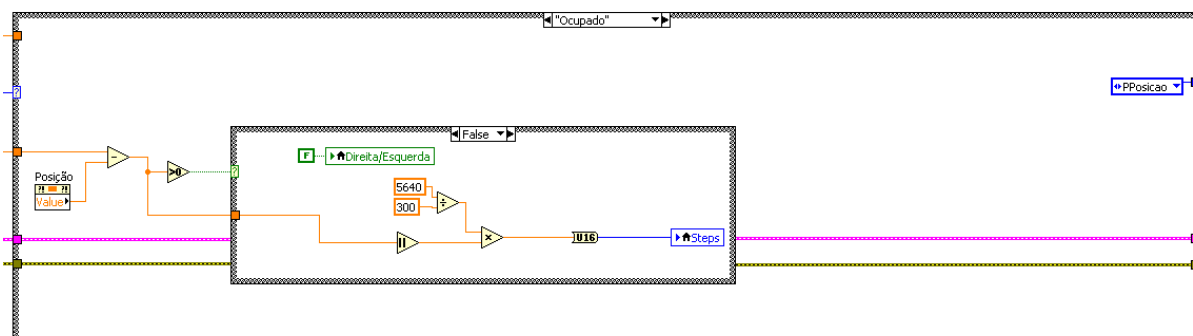
Figura 21 – Trecho de código para *array* de posições

Fonte: Produção do próprio autor

A seção marcada em roxo, representada nas Figuras 22, 23, 24 e 25, calcula o número de passos que o motor deve andar, realiza a movimentação do motor para as diversas posições desejadas, além de realizar as medições de pressão, apresentá-las em tela e armazená-las em uma planilha de Excel.

A Figura 22 exibe o trecho de código da situação “Ocupado”, onde é feito o cálculo de direcionamento do motor de passo. Este trecho de código recebe uma posição desejada e realiza comparações e cálculos para determinar o percurso da movimentação do motor. Primeiramente, o sistema subtrai da posição desejada a posição atual do tubo de Pitot. É então verificado se o resultado da subtração é maior do que zero para a determinação da direção do movimento a ser feito. O sistema, então, calcula o número de passos que o motor deve andar e autoriza o início da próxima seção, a “PPosição”.

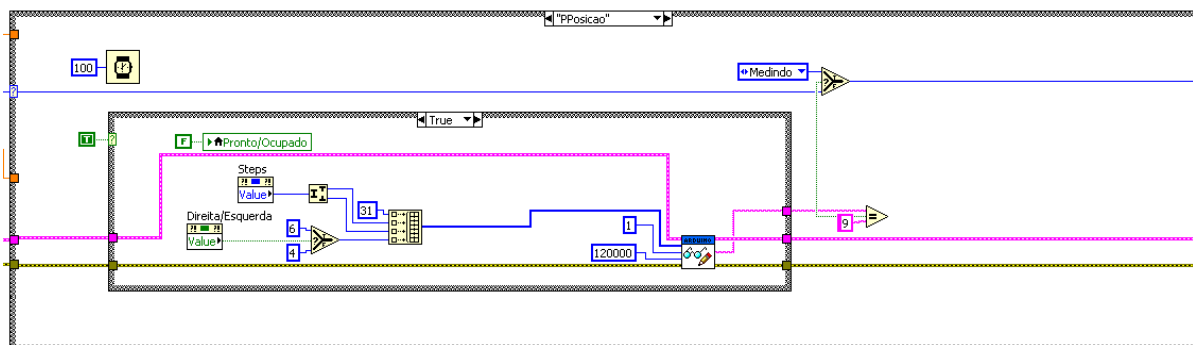
Figura 22 – Trecho de código para situação Ocupado



Fonte: Produção do próprio autor

Na Figura 23, onde a situação “PPosição” está ilustrada, está representado o módulo que realiza a movimentação do motor. É enviado um sinal ao Arduino que o habilita a atuar, um sinal que representa a direção de rotação, direita ou esquerda, além de um sinal que indica o número de passos calculados para que se alcance a posição desejada. Após o envio destes sinais, o sistema aguarda até que o Arduino responda ao término de sua operação no motor, enviando um sinal para o supervisor indicando que a posição desejada foi alcançada. Deste modo, o sistema supervisoriza o início das medições.

Figura 23 – Trecho de código para a situação PPosição

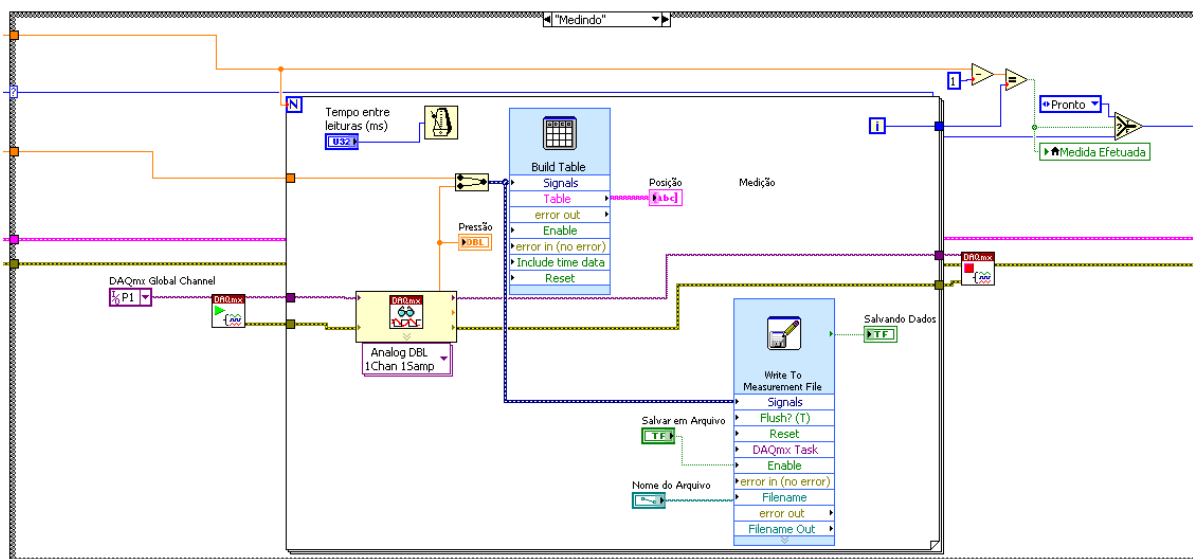


Fonte: Produção do próprio autor

Na Figura 24 está programado o trecho de código que realiza a leitura dos dados de pressão. As posições onde serão lidas as pressões são armazenadas em uma matriz, e a cada posição alcançada pelo tubo de Pitot, o sistema entra em um loop com número de iterações igual ao número de leituras que se deseja em cada ponto.

No *loop* é realizada a leitura do valor de pressão medido, a sua exibição em uma tabela na tela do supervisor e o armazenamento do mesmo em arquivo, além da espera de um tempo entre leituras, determinado pelo usuário. Após realizar esta atividade pelo número de vezes desejadas, o programa autoriza o processo de mudança de posição do tubo de Pitot e reinicia suas medições quando a próxima posição for alcançada.

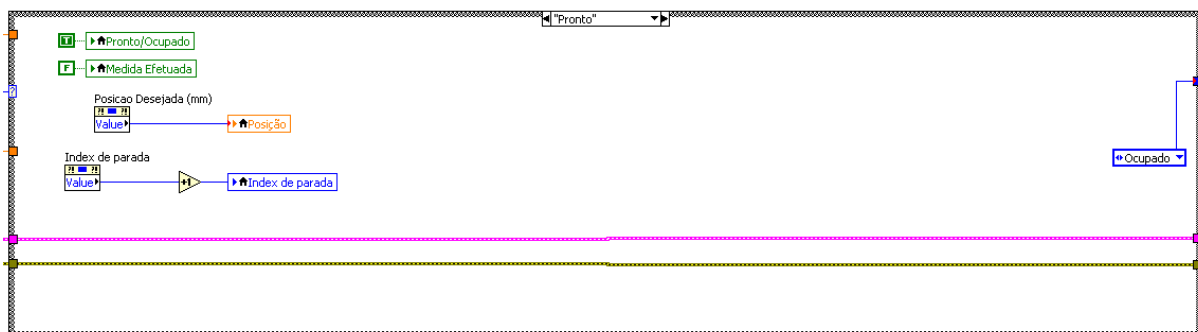
Figura 24 – Trecho de código para a situação Medindo



Fonte: Produção do próprio autor

A Figura 25 mostra o código que calcula a nova posição a ser alcançada, representado por “Pronto”. Significa que todas as atividades em relação à última posição já foram realizadas. Sendo assim, o sistema incrementa o “Index de parada”, que indica dentro da matriz de posições desejadas qual a próxima posição que deve ser alcançada. Além disso, esta seção habilita o LED “Pronto/Ocupado”, presente na tela do supervisor como indicador do término da varredura das posições inseridas.

Figura 25 – Trecho de código para a situação Pronto



Fonte: Produção do próprio autor

## 3.2 Utilização

### 3.2.1 Manual

O modo manual é aquele em que o usuário tem total controle sobre o posicionamento do tubo de Pitot dentro da tubulação. Através de botões *up/down*, o usuário controla a direção em que o motor movimenta o tubo de Pitot, mantendo o sistema em movimento enquanto o botão estiver sendo pressionado ou até que o tubo de Pitot atinja sua posição máxima, onde o sensor de fim de curso interrompe a movimentação do motor para evitar colisões e possíveis danos ao sistema físico. Os botões estão instalados junto ao sistema, onde o usuário controla o posicionamento do tubo de Pitot e realiza as medições necessárias sem a dependência do computador.

Para iniciar a operação em modo Manual, o usuário seleciona Manual na tela do supervisório e, em seguida, aperta o botão “Iniciar Manual”, que estará piscando em vermelho e amarelo para melhor visualização. A partir deste momento, o sistema desabilita todas as funções presentes na tela e entra em estado de espera até que um comando seja enviado ao programa indicando o fim do modo de operação Manual.

As medições de pressão realizadas neste modo de operação podem ser visualizadas instantaneamente através do LCD do transmissor de pressão diferencial, que lê os sinais de pressão do tubo de Pitot. Neste modo não é possível o armazenamento dos dados, pois o computador não participa deste processo.

A partir do momento em que as medições no modo manual foram realizadas e o usuário deseja voltar a controlar o sistema via computador, é necessário que o botão de fim do modo manual seja acionado. No momento do acionamento deste botão, um sinal é enviado ao sistema supervisorio indicando o encerramento do modo manual. Neste momento as funções presentes na tela do computador são novamente habilitadas e o comando do sistema volta a ser realizado remotamente.

### **3.2.2 Semi-automático**

Este é considerado o módulo principal do sistema e, provavelmente, o mais utilizado no monitoramento do processo. Nesse método de operação o usuário define as posições em que serão realizadas as medições, o número de medições realizadas em cada posição, o tempo de espera do sistema entre cada medição e o diâmetro da tubulação utilizada.

Após inserir os dados para a realização das medições, o usuário aperta o botão “Iniciar Medições” na tela para que o sistema comece a operar, e apenas aguarda os resultados finais da operação. Ao final do ciclo de medições inseridos pelo usuário, é permitida a inserção de novos valores ao sistema sem que haja a necessidade de se reiniciar a operação, mantendo assim todas as medições reunidas na mesma tabela e, conseqüentemente, em um mesmo arquivo de armazenamento.

### **3.2.3 Automático**

A necessidade do modo automático surge diante das especificações da Norma ISO/FDIS 3966 (9), que padroniza a maneira correta de se medir as pressões com a utilização do tubo de Pitot. Sendo assim, o sistema realiza medições de maneira semelhante ao modo Semi-automático, sendo a única diferença o fato de possuir posições previamente definidas e previstas em Norma.

Para o funcionamento do sistema neste modo de operação, é necessário apenas que o usuário escolha a modalidade “Automático” na interface do supervisorio, insira o valor do diâmetro da tubulação utilizada e aperte o botão “Iniciar Medições”. A partir dessa escolha, o supervisorio calculará as posições que devem ser varridas pelo sistema e iniciará seu processo de medição sem que o usuário possa interferir na operação, podendo apenas interromper o processo.

### 3.2.4 Norma ISO/FDIS 3966:2008(E)

A Norma ISO/FDIS 3966:2008(E) (9) estabelece os padrões para a medição da pressão de fluidos confinados em condutores fechados utilizando o tubo de Pitot. Ela traz especificações quanto ao número de pontos onde deve ser medida a pressão diferencial para que se possa traçar o perfil de velocidade deste fluido nas condições de operação do sistema, além de outros métodos para atividades que fogem ao escopo deste projeto, como o cálculo da velocidade de descarga.

Além destas especificações, a norma traz outros métodos como a determinação da velocidade média do escoamento, referida pela Norma como a velocidade de descarga, entre outros. Este tipo de análise foge ao escopo proposto, portanto não foram considerados neste projeto, mas podem ser analisados posteriormente pelo usuário do sistema com base nos dados de pressão medidos pelo mesmo.

A Norma prevê dois modelos de tubulação que podem ser utilizadas, as de seção retangular e as de seção circular. Neste projeto foi utilizada uma tubulação de seção circular, e para este tipo de seção, as posições dos pontos de medição podem ser calculadas com base em valores presentes na Norma, que relacionam a distância do ponto à parede da tubulação com o valor do diâmetro da mesma. Na Tabela 1 são apresentadas essas relações com base no método Log-Linear, bem como o número de medições que devem ser realizadas em cada uma delas. O valor  $y$  representa a distância do ponto à parede da tubulação e o valor  $D$  representa o diâmetro da tubulação.

Tabela 1 – Posições relativas à distância da parede da tubulação

| Número de pontos de<br>medição por raio | y/D             |
|-----------------------------------------|-----------------|
| 3                                       | 0,3207 ± 0,0050 |
|                                         | 0,1349 ± 0,0050 |
|                                         | 0,0321 ± 0,0016 |
| 5                                       | 0,3612 ± 0,0050 |
|                                         | 0,2171 ± 0,0050 |
|                                         | 0,1525 ± 0,0050 |
|                                         | 0,0765 ± 0,0038 |
|                                         | 0,0189 ± 0,0009 |

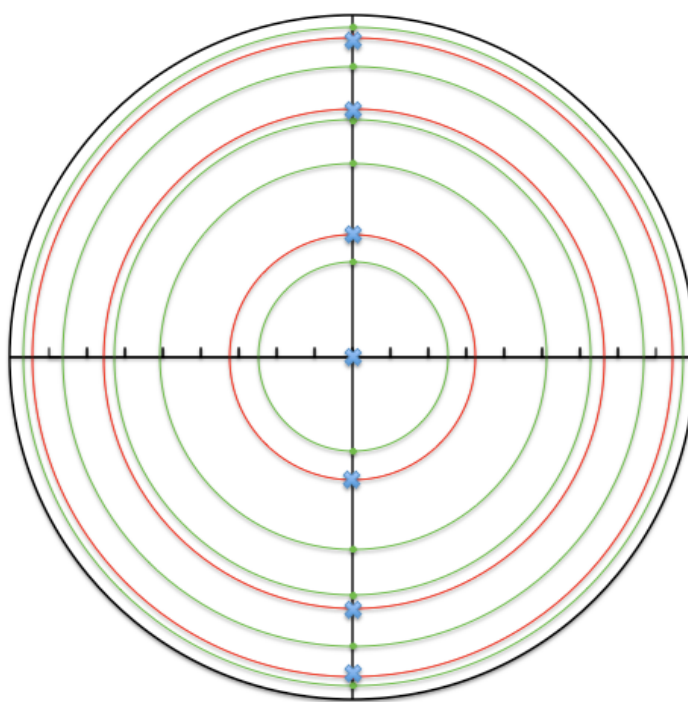
De posse do valor do diâmetro da tubulação a ser utilizada, e com base na Tabela 1, é possível calcular as distâncias onde devem ser realizadas as medições. É através dessas distâncias que são definidos círculos concêntricos sobre os quais as medições devem ser realizadas. É necessário traçar um eixo perpendicular ao eixo da tubulação, e em todos os pontos onde este eixo cruza com os círculos previamente definidos, são estabelecidos os pontos de medição.

Para a tubulação de 180 mm que foi considerada como exemplo para este projeto, a Tabela 2 mostra as posições calculadas onde devem ser realizadas as medições. Logo após, a Figura 26 exibe o resultado dos cálculos realizados, mostrando os círculos concêntricos definidos e os pontos de medição encontrados, onde os verdes representam os pontos quando se utilizam cinco raios de medição e os vermelhos quando são utilizados três raios. O modelo escolhido foi o de três raios devido a limitações físicas da planta. O ponto central, apesar de ser necessário para os dois modelos, está marcado em vermelho para fins de adequação ao modelo escolhido, representado em vermelho.

Tabela 2 – Pontos de medição calculados para tubulação de diâmetro igual a 180 mm

| <b>Número de pontos de medição por raio</b> | <b>Distância do centro (mm)</b> |
|---------------------------------------------|---------------------------------|
| 3                                           | 32,274                          |
|                                             | 65,718                          |
|                                             | 84,222                          |
| 5                                           | 24,984                          |
|                                             | 50,922                          |
|                                             | 62,550                          |
|                                             | 76,230                          |
|                                             | 86,598                          |

Figura 26 – Pontos de Medição



Fonte: Produção do próprio autor

É necessário deixar claro que estes valores são válidos somente para tubulações com diâmetro de 180mm. Sendo assim, para tubulações com diferentes diâmetros, devem ser realizados novos cálculos para a definição de novos pontos de medição, conforme especificado em Norma.

### 3.3 Testes

Para uma demonstração detalhada do funcionamento do sistema supervisorio implementado, foram feitas simulações quanto ao seu uso. Os valores das medições foram gerados em simulação e não possuem qualquer relação com a realidade. Os testes foram realizados somente para validação e ilustração do funcionamento do sistema.

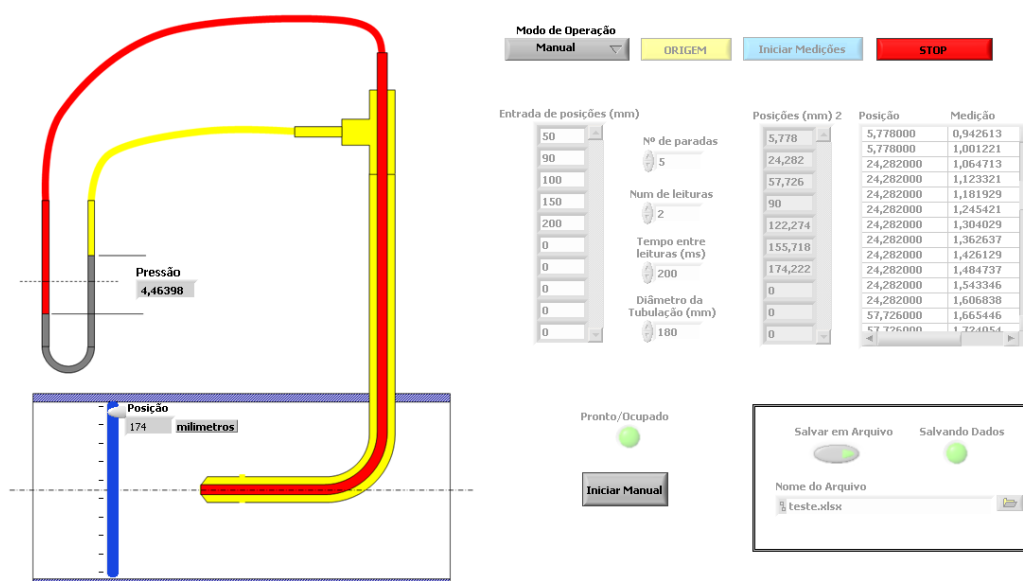
#### 3.3.1 Teste da Origem

No teste da origem foi apenas avaliada a precisão do sistema na busca do ponto de partida para as medições. Foi verificada a atuação do sensor de fim de curso na interrupção do deslocamento do motor, obtendo como resultado uma interrupção precisa no posicionamento do motor no ponto “zero”.

#### 3.3.2 Teste do Modo Manual

No teste do modo Manual, o foco da avaliação era analisar as funções que ficam habilitadas ou desabilitadas neste modo de operação. A Figura 27 mostra o sistema atuando no modo Manual, onde é possível observar que estão habilitadas para uso somente as funções de “Iniciar Manual” e de “Stop” do sistema supervisorio.

Figura 27 – Supervisorio em funcionamento para o modo Manual



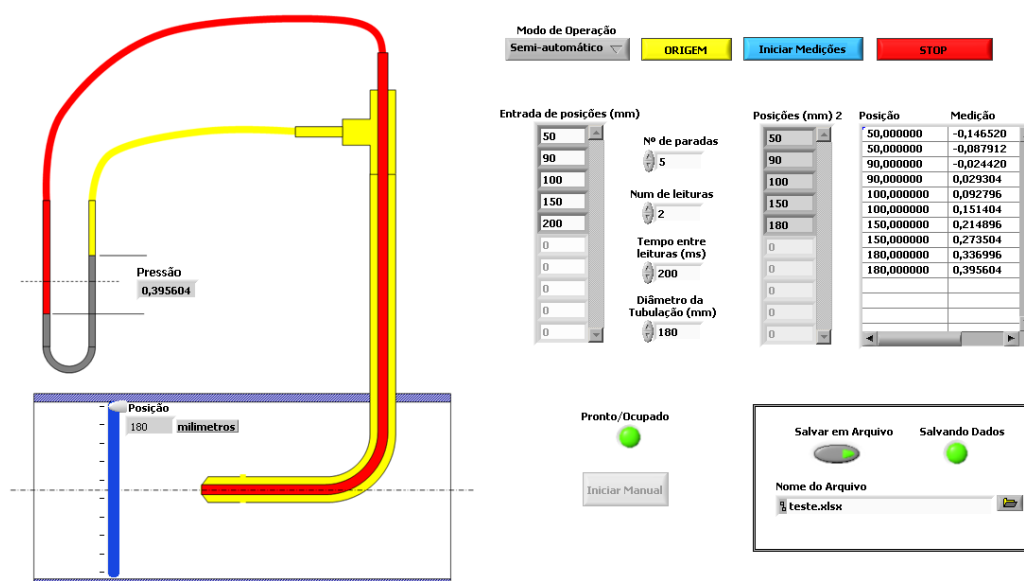
Fonte: Produção do próprio autor

### 3.3.3 Teste do Modo Semi-automático

No modo Semi-automático é interessante avaliar algumas características fundamentais ao funcionamento do supervisor. É necessário que o sistema não ultrapasse o limite de posição, que é igual ao valor do diâmetro da tubulação. Sendo assim, o sistema deve tratar posições de valores maiores que os permitidos pelas dimensões físicas da planta, alterando seu valor para o valor máximo permitido.

É importante também avaliar o tempo de espera entre as medições, pois o mesmo é uma entrada do sistema, e deve ser respeitado. Além disso, é interessante verificar se as medições estão sendo feitas de modo correto, o que pode ser comprovado através da Figura 28, que ilustra o teste realizado.

Figura 28 – Supervisor em funcionamento para o modo Semi-automático



Fonte: Produção do próprio autor

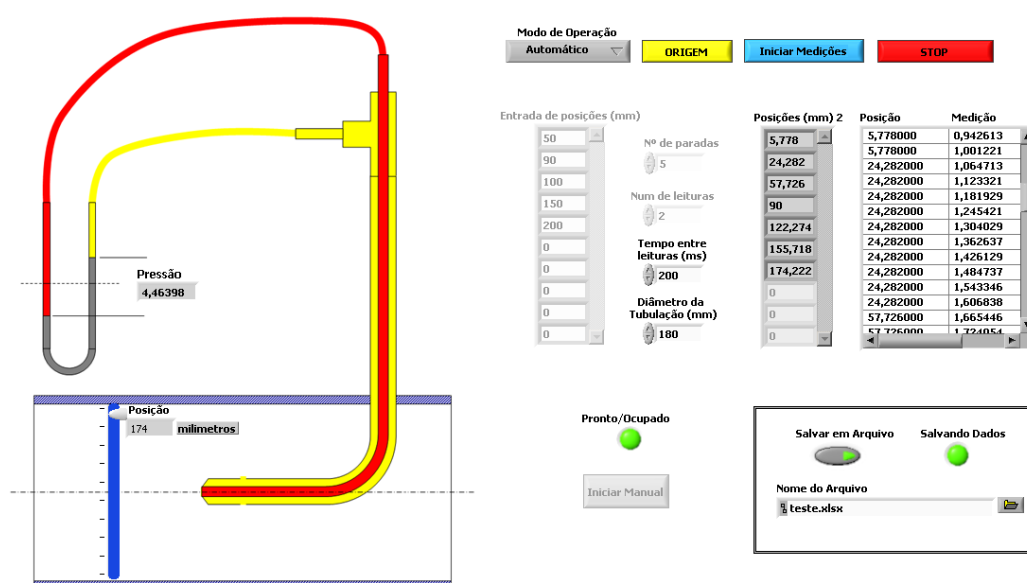
### 3.3.4 Teste do Modo Automático

Para o teste do modo Automático, é importante avaliar os cálculos que são feitos das posições de medição. Além disso, é necessário verificar o número de leituras que o sistema faz em cada posição de parada, que deve ser conforme determinado anteriormente no valor de 10 medições.

As funções de entrada de posições, número de paradas e número de leituras devem estar desabilitadas, enquanto as demais funções devem estar disponíveis para uso. O botão “Iniciar Manual” também deverá estar desabilitado neste modo de operação.

A Figura 29 mostra o teste do modo Automático, onde podem ser verificadas as condições descritas anteriormente.

Figura 29 – Supervisório em funcionamento para o modo Automático



Fonte: Produção do próprio autor

### 3.3.5 Teste da Função Salvar em Arquivo

Durante a utilização do sistema nos modos Semi-automático e Automático é possível armazenar os dados lidos em arquivos. O teste que foi realizado para avaliar esta função foi durante o teste do modo Semi-automático. Sendo assim, será possível realizar a conferência dos resultados de maneira fácil e rápida.

A planilha gerada com os dados lidos deve possuir informações de data e horário de cada medição na primeira coluna. A segunda coluna é preenchida com as posições onde serão realizadas as medições, e por último, a terceira coluna presente na planilha mostra os

resultados das medições realizadas. A Figura 30 mostra a planilha gerada a partir do teste do modo Semi-automático.

Figura 30 – Planilha de Excel com dados de medições de teste

|    | A                   | B        | C          |
|----|---------------------|----------|------------|
| 1  | Time                | Untitled | Untitled 1 |
| 2  | 11/12/2014 17:43:29 | 50       | -0.14652   |
| 3  | 11/12/2014 17:43:29 | 50       | -0.087912  |
| 4  | 11/12/2014 17:43:31 | 90       | -0.02442   |
| 5  | 11/12/2014 17:43:31 | 90       | 0.029304   |
| 6  | 11/12/2014 17:43:32 | 100      | 0.092796   |
| 7  | 11/12/2014 17:43:32 | 100      | 0.151404   |
| 8  | 11/12/2014 17:43:34 | 150      | 0.214896   |
| 9  | 11/12/2014 17:43:34 | 150      | 0.273504   |
| 10 | 11/12/2014 17:43:35 | 180      | 0.336996   |
| 11 | 11/12/2014 17:43:36 | 180      | 0.395604   |

Fonte: Produção do próprio autor

### 3.4 Conclusão

Neste capítulo foi apresentada toda a solução implementada neste projeto, onde o diagrama de blocos foi dividido em seções, explicitando cada trecho de código desenvolvido e sua função junto ao sistema, cada função da tela do supervisor e o correto uso do supervisor, para garantir o entendimento completo do sistema.

Foram apresentados os testes realizados junto ao supervisor, para a verificação de seu funcionamento. Os testes validaram tanto a correta operação do sistema quanto a apresentação e o armazenamento dos dados de pressão obtidos.

## 4 CONCLUSÃO

Muitos supervisórios já foram desenvolvidos e encontram-se disponíveis na literatura existente, porém, para problemas específicos, como é o caso do Laboratório de Máquinas de Fluxo da Universidade Federal do Espírito Santo, faz-se necessária a elaboração de um supervisório que atenda aos requisitos do sistema proposto. Deste modo, muito se pode agregar em conhecimento à literatura, tendo em vista que a cada novo caso de estudo, surgem descobertas e soluções diferentes, possibilitando novos conhecimentos a serem difundidos no ramo de supervisórios.

Como mencionado anteriormente, o trabalho se propôs a desenvolver um sistema de supervisório que atenda à demanda do LabMaqFlu, podendo ser utilizado como base para o desenvolvimento de outros supervisórios. O projeto foi realizado com a finalidade de melhorar um processo existente, que no momento é feito de modo manual, agregando tecnologias de automatização do processo e garantindo maior precisão aos dados que são objetos de estudo dos alunos de Engenharia Mecânica da UFES.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) **Instrumentação**. Disponível em: <<http://www.automacaoindustrial.info/qual-diferenca-entre-automacao-e-instrumentacao/>>. Acesso em: 8 jul. 2014.
  
- (2) JURIZATO, L. A.; PEREIRA, P. S. R. **Sistemas Supervisórios**. 2002, 2003. Disponível em < <http://centralmat.com.br/Artigos/Mais/sistemasSupervisorios.pdf>>. Acesso em: 08 jul. 2014.
  
- (3) CARONI, F. M.; Caracterização do Escoamento no Túnel de Vento e Acessórios do Laboratório de Máquinas de Fluxo. 2013. Disponível em <[http://www.prh29.ufes.br/arquivos\\_downloads/TCC/2013/felipe%20marinho%20caroni%20.%20GRA\\_MEC%20.%20CARACTERIZAÇÃO%20DO%20ESCOAMENTO%20NO%20TÚNEL%20DE%20VENTO%20E%20ACESSÓRIOS%20DO%20LABORATÓRIO%20DE%20MÁQ.pdf](http://www.prh29.ufes.br/arquivos_downloads/TCC/2013/felipe%20marinho%20caroni%20.%20GRA_MEC%20.%20CARACTERIZAÇÃO%20DO%20ESCOAMENTO%20NO%20TÚNEL%20DE%20VENTO%20E%20ACESSÓRIOS%20DO%20LABORATÓRIO%20DE%20MÁQ.pdf)>. Acesso em 8 jul. 2014.
  
- (4) BRITES, F. G.; SANTOS, V. P. A. **Motor de Passo**. Rio de Janeiro. 2008.
  
- (5) ALLEGRO, M. I. *Microstepping Driver With Translator*. Massachusetts.
  
- (6) NATIONAL INSTRUMENTS. *Company*. Disponível em <[www.ni.com/company](http://www.ni.com/company)>. Acesso em 18 nov. 2014.
  
- (7) NATIONAL INSTRUMENTS. **NI 9203**. Disponível em <[sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/pt/nid/208805](http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/pt/nid/208805)>. Acesso em 20 nov. 2014.
  
- (8) NATIONAL INSTRUMENTS. **NI cDAQ-9188**. Disponível em <[sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/pt/nid/208990](http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/pt/nid/208990)>. Acesso em 20 nov. 2014.
  
- (9) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/FDIS 3988: Measurement of fluid flow in closed conduits — Velocity area method using Pitot static tubes**. 2008.