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

DANIEL MADEIRA BUENO

AUTOMAÇÃO DA PLANTA PILOTO PARA CONTROLE DE MALHAS DE NÍVEL, VAZÃO E TEMPERATURA

VITÓRIA – ES
DEZ/2014

DANIEL MADEIRA BUENO

AUTOMAÇÃO DE UMA PLANTA PILOTO PARA CONTROLE DE MALHAS DE NÍVEL, VAZÃO E TEMPERATURA

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Daniel Madeira Bueno**, 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. Celso José Munaro

VITÓRIA – ES
DEZ/2014

DANIEL MADEIRA BUENO

AUTOMAÇÃO DE UMA PLANTA PILOTO PARA CONTROLE DE MALHAS DE NÍVEL, VAZÃO E TEMPERATURA

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Daniel Madeira Bueno**, 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.

Aprovada em 19, de Dezembro de 2014.

COMISSÃO EXAMINADORA:

_____

Prof. Dr. Celso José Munaro
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

_____

Prof. Dr. Alessandro Mattedi
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

_____

Eng. Leonardo de Assis Silva
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

DEDICATÓRIA

Aos meus familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sempre estar ao meu lado em todos os momentos me dando forças para persistir atrás dos meus objetivos, metas e desejos.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Celso José Munaro por toda ajuda e pela oportunidade de aprendizagem que me foi dada e que certamente carregarei esta experiência comigo por toda minha vida.

Agradeço também ao Prof. Dr. Moisés Renato Nunes Ribeiro e a Profa. Dra. Maria José Pontes por apesar de não estarem ligados ao projeto sempre se mostraram interessados em saber como estava o andamento do mesmo, além de estarem à disposição para ajudar na organização do ambiente.

Agradeço ao meu amigo Filipe Amorim, por ter dividido comigo os momentos pelos quais passamos diante da planta com dúvidas, buscando soluções de coisas que não tinhamos o mínimo conhecimento, mas também pelos momentos em que conseguimos uma conquista mesmo que esta fosse algo muito simples.

Agradeço ao Fernando Tadeu por ter cedido seu tempo para poder ajudar no entendimento de alguns instrumentos bem como dar conselhos do que poderia ser feito para melhorar o ambiente que temos a disposição.

Agradeço a minha namorada Dayane por servir de inspiração para mim tanto como pessoa como quanto estudante e me ajudar sempre nas escolhas que devo fazer, além de me apoiar em cada um dos meus objetivos.

Agradeço ao meu amigo Leonardo Assis por ter sido disponível para me ajudar a vencer esta etapa.

Agradeço a todos os meus amigos pelos momentos que passamos juntos, pelas brincadeiras, pelas risadas, pelos conselhos, ensinamentos e por todos os apertos que vivemos em cada período, certamente sem eles este curso não teria sido a mesma coisa.

RESUMO

Este trabalho consiste no projeto de automação de uma planta piloto adquirida pela Universidade Federal do Espírito Santo, com o objetivo de proporcionar um cenário realista quanto à análise de experimentos em diversas áreas de conhecimento presentes no curso de Engenharia Elétrica. A planta piloto possui basicamente dois tanques, uma bomba, duas válvulas de controle, dois transmissores de pressão, um transmissor de temperatura, um resistor trifásico, um Controlador Lógico Programável, um inversor de frequência e utiliza água como fluido.

Desenvolveu-se a programação do Controlador Lógico Programável responsável pelo funcionamento da planta piloto, no ambiente Control Builder F, da ABB, juntamente com a implementação de telas de supervisório, cuja função consiste em facilitar a visualização das variáveis do processo e proporcionar meios de interação do operador com o mesmo, estas são visualizadas através do DigiVis.

As variáveis de entrada são os sinais provenientes dos transmissores de pressão diferencial e temperatura enquanto as variáveis de saída são sinais de controle da bomba, das válvulas de controle e de acionamento do resistor. Para a aquisição e geração dos sinais citados anteriormente utilizou-se os cartões de entrada e saída respectivamente, sendo que estes podem ser analógicos ou digitais conforme a aplicação. No intuito de criar uma forma de armazenar variáveis foi utilizado o padrão OPC.

Além da lógica desenvolvida realizou-se todas as conexões entre os instrumentos e o Controlador, correção de ligações pré-existentes nos mesmos entre outros impasses enfrentados para tornar a planta piloto operacional.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Planta piloto 15
Figura 2 – Reservatório superior (esquerda) e reservatório inferior (direita). 16
Figura 3 – Localização do resistor, termopar e transmissor de temperatura 17
Figura 4 – Válvula de controle 18
Figura 5 - Compressor 19
Figura 6 – Transmissores de pressão diferencial 2051 (esquerda) e 2010TD (direita) 19
Figura 7 – Painel de comando (esquerda) e painel de potência (direita). 20
Figura 8 – Controlador Freelance 2000 Select 21
Figura 9 – Módulo de I/O S900 22
Figura 10 – Posicionador SVI II AP 23
Figura 11 – Disposição dos canais no cartão *AO920N* 23
Figura 12 – Esquema de funcionamento das válvulas de controle 24
Figura 13 – Terminais de ligação do inversor de frequência 25
Figura 14 – Conexões de potência 25
Figura 15 – Conexões de comando 26
Figura 16 – Contator e relé de acionamento 27
Figura 17 - Disposição dos canais no cartão *DX910N* 27
Figura 18 – Esquema do circuito utilizado para o funcionamento do relé 28
Figura 19 – Multibarreira MB 204-Ex 29
Figura 20 - Conversor Profibus PA/DP 29
Figura 21 – Transmissor de temperatura TF12-Ex 30
Figura 22 – Botões de configuração do 2010TD 31
Figura 23 – Transmissor de pressão diferencial 2051 31
Figura 24 - Disposição dos canais no cartão *AI930N* 32
Figura 25 – Tela de apresentação do Control Builder F 33
Figura 26 – Criação de um novo projeto 34
Figura 27 – Cabeçalho do projeto 35
Figura 28 – Tela inicial do projeto 35
Figura 29 – Criação da árvore do projeto 36
Figura 30 – Inserção do nível de configuração 37
Figura 31 – Inserção da estação de processamento 37
Figura 32 – Tarefas do sistema e tarefas do usuário 38

Figura 33 – Configuração dos parâmetros de uma tarefa 38
Figura 34 – Seleção entre um programa em SFC e um proveniente da lista de programas . 39
Figura 35 – Seleção entre do diagrama de blocos entre as opções disponíveis..... 39
Figura 36 – Inserção da estação de supervisão 40
Figura 37 – Estação de engenharia 40
Figura 38 – Estrutura básica de hardware, estação de engenharia, estação de supervisão e controlador 41
Figura 39 – Módulos do controlador Freelance 2000 Select 41
Figura 40 – Localização do módulo *Profibus DPV1* 42
Figura 41 – Criação da rede Profibus 42
Figura 42 – Rede profibus completa..... 43
Figura 43 – Inserção dos cartões do módulo de I/O S900 43
Figura 44 – Opções de configuração offline para cartão digital (acima) e cartão analógico (abaixo) 44
Figura 45 – Interface disponível para forçar sinais em cartão digital (acima) e cartão analógico (abaixo) 45
Figura 46 – Interface de configuração do transmissor 2010TD via DTM 45
Figura 47 – Modificação do parâmetro para o funcionamento do transmissor TF12-Ex..... 46
Figura 48 - Interface de configuração do transmissor TF12-Ex via DTM 47
Figura 49 – Ambiente de desenvolvimento do diagrama de blocos funcionais 48
Figura 50 – Determinação dos parâmetros de um bloco de função..... 49
Figura 51 – Conexão entre 2 blocos de função..... 49
Figura 52 – Definição do tipo de uma variável 50
Figura 53 – Lista para seleção de variáveis 50
Figura 54 – Seleção das variáveis provenientes diretamente de dispositivos profibus 52
Figura 55 – Seleção de variáveis provenientes dos cartões do módulo de I/O S900 53
Figura 56 – Malha de controle de vazão..... 54
Figura 57 – Malha de controle de nível 55
Figura 58 – Malha de controle de temperatura 56
Figura 59 – Criação do ambiente de desenvolvimento do supervisório 57
Figura 60 – Ambiente de desenvolvimento do supervisório 57
Figura 61 – Seleção de uma variável para ser mostrada em um display no supervisório 58
Figura 62 – Sistema de supervisão utilizado para monitoramento e operação da planta piloto 58

Figura 63 – Seleção do tipo de gateway desejado (OPC) 60
Figura 64 – Inclusão do servidor OPC na estrutura de hardware 60
Figura 65 - Configuração da rede com o servidor OPC 61
Figura 66 – Etapa final na criação do servidor OPC 61
Figura 67 – Blocos existentes no OPC toolbox 61
Figura 68 – Parte da janela referente ao bloco OPC Configuration 62
Figura 69 – Lista de servidores OPC utilizados 62
Figura 70 – Escolha do servidor OPC do controlador Freelance 2000 Select 63
Figura 71 – Janela referente ao bloco *OPC Read* 63
Figura 72 – Variáveis do programa disponíveis para aquisição 64

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resposta do nível no reservatório superior de acordo com degraus na bomba. 65
Gráfico 2 – Curvas de resposta da vazão para degraus aplicados na bomba..... 66
Gráfico 3 – Curva de reação da vazão devido à aplicação de sucessivos degraus na bomba 67
Gráfico 4 - Curvas de reação da vazão devido à abertura da válvula V1 67
Gráfico 5 - Curva de reação da vazão devido à aplicação de sucessivos degraus na válvula V1 68
Gráfico 6 - Curvas de reação do nível devido à degraus aplicados na válvula V2 69
Gráfico 7 - Curva de reação do nível devido à aplicação de sucessivos degraus na válvula V2 69
Gráfico 8 – Variação da temperatura para o sistema em um determinado ponto de operação 70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
CBF	Control Builder F

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
2 PLANTA PILOTO 15
2.1 Introdução 15
2.2 Componentes da planta piloto 16
2.3 Ligações dos instrumentos 21
2.3.1 Controlador 21
2.3.1 Módulo de I/O S900 21
2.3.2 Válvulas de controle 22
2.3.3 Bomba 24
2.3.4 Resistor de aquecimento 26
2.3.5 Transmissores profibus 28
2.3.6 Transmissor de pressão diferencial 2051 31
3 CONTROL BUILDER F 33
3.1 Criação do projeto 34
3.2 Criação da Árvore do Projeto 36
3.3 Definição do Hardware do Projeto 40
3.4 Configurações de Rede 47
4 INTRODUÇÃO À CRIAÇÃO DAS MALHAS DE CONTROLE DA PLANTA PILOTO 48
4.1 Introdução 48
4.2 Criação do diagrama de blocos 48
4.3 Malhas de controle 51
4.3.1 Introdução 51
4.3.2 Aquisição e geração de sinais 51
4.3.2.1 Aquisição das medições 51
4.3.2.2 Geração de sinais 53
4.3.3 Estratégias de controle 54
4.3.3.1 Controle de vazão 54
4.3.3.2 Controle de Nível 55
4.3.3.3 Controle de temperatura 56
5 SISTEMA DE SUPERVISÃO 57

5.1 Criando uma Visualização 57
6 AQUISIÇÃO DE DADOS 59
6.1 OPC 59
6.2 Configuração do controlador para disponibilização de dados 59
6.3 Configuração do MATLAB® para realizar a aquisição de dados 61
7 TESTES REALIZADOS 65
8 CONCLUSÕES 71
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 72

1 INTRODUÇÃO

A abrangência do ensino e pesquisas relacionados a processos industriais pode ser ampliada com a disponibilidade de um ambiente que represente com certo grau de fidelidade o cenário existente nas industrias, este pode ser proporcionado pela inserção de uma planta de processos industriais didática ou planta piloto em áreas acadêmicas, no intuito de contextualizar problemas reais a serem resolvidos utilizando equipamentos e/ou dispositivos normalmente encontrados em uma zona de produção. Espera-se que o conteúdo apresentado neste trabalho possa apoiar mais iniciativas como esta, possibilitando diminuir a distância entre o conhecimento utilizado por profissionais que atuam na indústria e o proveniente do meio acadêmico, através do uso de plantas piloto bem planejadas.

A planta piloto existente como elemento principal deste trabalho possui elementos suficientes para que o seu uso possa comtemplar situações típicas da indústria bem como conceitos da teoria de controle, modelagem e análise do efeito de perturbações, estudados nos cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Espírito Santo.

Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento do processo de automação da planta piloto em questão, contemplando a interligação entre os instrumentos responsáveis por monitorar e atuar no processo e o controlador, bem como a configuração dos mesmos, o desenvolvimento de lógicas para a operação das malhas de controle, além da elaboração do sistema supervisório utilizado como interface entre o operador e o processo. Este projeto de graduação se encontra dividido da seguinte maneira:

No capítulo 2 é definida a estrutura da planta piloto, apresentando todos os que fazem parte da mesma bem como as suas funções no funcionamento das malhas de controle existentes no processo. Além disso são apresentadas as formas de como os diversos instrumentos existentes na planta piloto estão conectados com o controlador para que estes funcionem de maneira adequada cumprindo suas funções.

No capítulo 3 desenvolve-se a explicação de como é feito um programa para ser utilzado no controlador, desde a elaboração da árvore do projeto até a configuração do *hardware* utilizado para o controle do processo bem como a definição dos endereços de rede para que a conexão com o controlador seja estabelecida.

No capítulo 4 dedica-se um espaço para apresentar a forma de como devem ser realizadas lógicas de controle utilizando diagrama de blocos funcionais, mostrando como é feita a aquisição e a geracão de sinais para o controle dos instrumentos. Denota-se também a estrutura básica das malhas de controle à serem implementadas em projetos posteriores.

No capitulo 5 é apresentado o ambiente de desenvolvimento gráfico bem como o sistema de supervisão utilizado para o controle e monitoramento do processo existente na planta piloto.

No capitulo 6 define-se o mecanismo utilizado para realizar a aquisição de dados diretamente do controlador para realizar a manipulação dos mesmos, além de como deve-se configurar tanto o controlador como o MATLAB® para este fim.

No capítulo 7 expõe-se resultados de alguns testes operacionais realizados na planta piloto para ajuda na compreensão de seu funcionamento bem como auxiliar na resolução de impasses existentes na mesma.

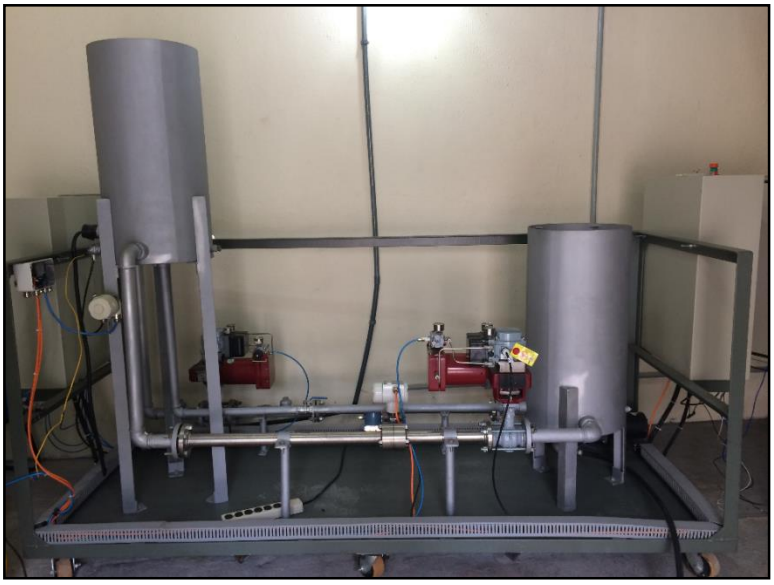
2 PLANTA PILOTO

2.1 Introdução

A planta piloto automatizada neste projeto será utilizada para fins de ensino e pesquisa em controle de processos industriais, envolvendo as malhas e estratégias de controle mais usuais nas indústrias, proporcionando a proximidade com certo grau de fidelidade entre o ambiente acadêmico e o "chão de fábrica", assim como mostrado na figura 1.

As variáveis controladas na planta didática em questão são: nível, vazão e temperatura, utilizando como fluído de processo a água e vários instrumentos para o controle das respectivas malhas. Para o acionamento das válvulas de controle será utilizado ar comprimido proporcionado por meio de compressores.

Figura 1 – Planta piloto



Fonte: Produção do próprio autor.

A proposta deste projeto é criar o cenário ideal para que as mais diversas malhas de controle possam interagir entre si, a fim de proporcionar a realização de experimentos com perturbações e acoplamento entre as mesmas, além de possibilitar a modelagem e projeto de controladores simples e avançados.

Para realizar o controle das variáveis e dos diversos instrumentos existentes na planta piloto utiliza-se o controlador Freelance Select 2000 da ABB, o qual proporciona ao usuário uma estrutura completa para o gerenciamento de processos por meio de diferentes possibilidades na escolha das linguagens de programação, ambiente de desenvolvimento do sistema de supervisão, interação com equipamentos externos para disponibilização de dados entre outros.

A topologia da rede de comunicação utilizada consiste em um PC utilizado tanto para programação como para supervisão, interligado ao controlador por meio de uma conexão Ethernet. Este por sua vez se comunica com diversos instrumentos de características tanto digitais quanto analógicas existentes na planta, através de sinais de corrente ou por meio do protocolo Profibus.

2.2 Componentes da planta piloto

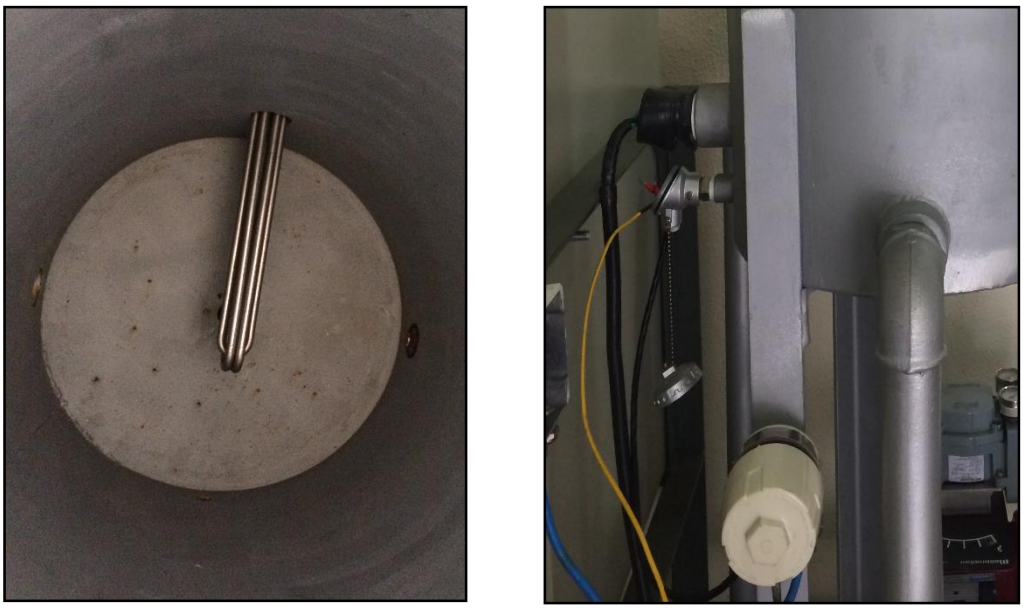
Primeiramente a estrutura da planta piloto foi definida de forma que o seu transporte fosse fácil não havendo a necessidade de montagem e desmontagem, portanto a mesma dispõe de um conjunto de 6 rodas para satisfazer esta necessidade. Quanto ao processo, a planta é composta por dois reservatórios cinlindricos, apresentados na figura 2, utilizados como elementos essenciais constituintes das malhas de controle a serem implementadas, estes através do armazenamento de água interagem com os demais elementos do processo.

Figura 2 – Reservatório superior (esquerda) e reservatório inferior (direita)

Fonte: Produção do próprio autor.

O tanque superior possui como dimensões 40 cm de diâmetro e 80 cm de altura e está localizado à cerca de 70 cm da base da planta. Neste está instalado um banco trifásico de resistores (6000W/220V) necessário para manter o fluido neste reservatório na temperatura desejada. Para realizar a medição da temperatura do fluido utiliza-se um sensor termopar tipo K localizado abaixo do resistor. Este se comunica com o controlador através do transmissor de temperatura TF12-Ex da ABB utilizando o protocolo Profibus proporcionando o cenário adequado para realização de experimentos de controle de malhas de temperatura. Ambos os instrumentos estão apresentados na figura 3.

Figura 3 – Localização do resistor, termopar e transmissor de temperatura



Fonte: Produção do próprio autor.

O tanque inferior possui como dimensões 40 cm de diâmetro e 80 cm de altura e as mesmas características físicas do tanque superior no entanto está situado 20 acima da base da planta. Este reservatório possui um ponto de tomada de àgua por onde pode-se conectar uma mangueira para alimentar o sistema com o fluido em questão.

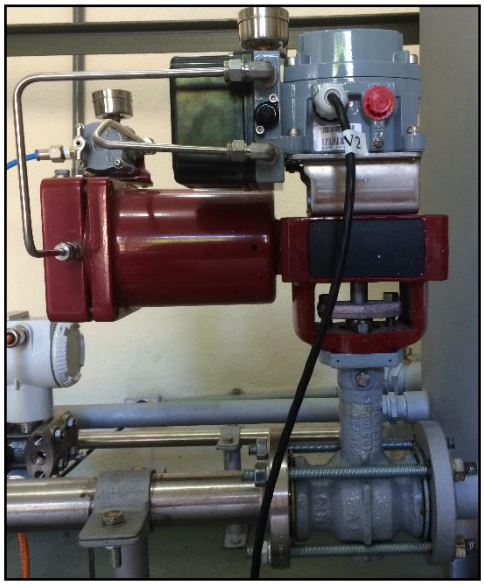
Entre os dois tanques existem três tubulações interligando os mesmos. Duas destas estão disponíveis para que sejam realizadas as ações de controle. Em uma delas, o fluido é direcionado do reservatório inferior para o superior por meio de uma bomba localizada próxima ao tanque inferior. Deve-se ressaltar que o controle sobre este dispositivo é realizado através de

um inversor de frequência assim como é usualmente feito na indústria. Ainda nesta tubulação existem um medidor de pressão diferencial e uma válvula de controle.

Na outra tubulação do par citado anteriormente existem apenas um medidor de pressão diferencial e uma válvula de controle, devido a esta ser referente à saída do fluido do tanque superior para o inferior. Finalmente na tubulação restante localizada entre as já descritas encontra-se uma válvula manual ligando diretamente os dois tanques do processo, podendo ser usada como perturbação ou mesmo como segurança (para evitar transbordamento por exemplo) .

As válvulas de controle apresentadas na figura 4 possuem importância fundamental na realização do controle das variáveis de processo existentes em uma planta industrial. Como explicitado anteriormente a planta piloto em questão possui duas válvulas de controle: uma delas (V1) está localizada na tubulação logo após à bomba para regular o vazão de fluido em direção ao tanque superior, enquanto a outra (V2) está situada na tubulação pela qual o fluido desce para realizar o controle de nível do tanque superior.

Figura 4 – Válvula de controle



Fonte: Produção do próprio autor.

O acionamento das válvulas de controle descritas anteriormente está diretamente ligado à presença de um compressor, exibido na figura 5, responsável por fornecer através de

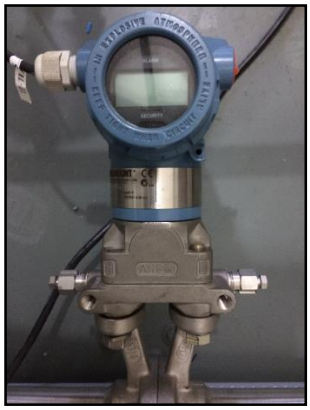
mangueiras a alimentação de ar necessária para que o posicionador microprocessado existente nas mesmas possa fazer o controle da posição do obturador.

Figura 5 – Compressor

Fonte: Produção do próprio autor.

Como salientado anteriormemte existem dois transmissores de pressão diferencial na planta piloto, conforme a figura 6. Um deles é o transmissor 2051 da Rosemount (azul) utilizado para medição de vazão na tubulação de subida do fluido através do uso de uma placa de orifício instalada entre os flanges utilizados como pontos para as tomadas de pressão onde encontra-se o medidor em questão. O outro transmissor de pressão diferencial é o 2010TD da ABB, este ao contrário do transmissor citado anteriormente, está conectado somente em um ponto de tomada de pressão de forma que seu outro terminal esteja aberto para a atmosfera no intuito de estabelecer uma relação entre a pressão do ponto onde este está conectado e o nível do reservatório superior.

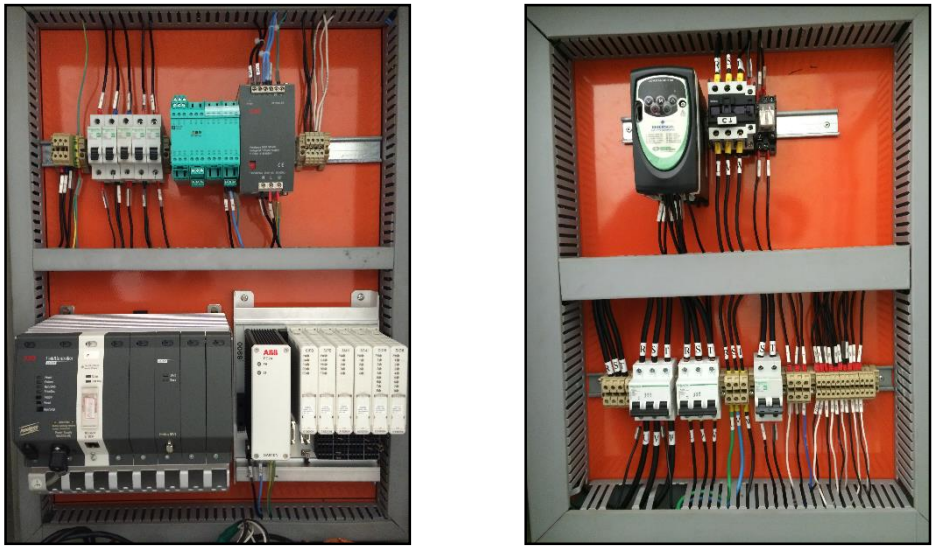
Figura 6 – Transmissores de pressão diferencial 2051 (esquerda) e 2010TD (direita)



Fonte: Produção do próprio autor.

A planta piloto possui dois painéis elétricos nas extremidades de sua estrutura, de acordo com a figura 7. Estes por sua vez podem ser divididos em painel de comando e painel de potência. O Painel de comando contém o controlador Freelance 2000 Select, o módulo de I/O S900, uma fonte CC de 24V, um conversor Profibus PA/DP além dos bornes e disjuntores relativos à alimentação dos componentes existentes neste quadro. O painel de potência por sua vez dispõe do inversor de frequência utilizado para o acionamento da bomba, do contator responsável por ligar o resistor citado anteriormente, do relé para fazer com que o contator entre em funcionamento além dos disjuntores para proteção e os bornes para conexão.

Figura 7 – Painel de comando (esquerda) e painel de potência (direita).



Fonte: Produção do próprio autor.

2.3 Ligações dos instrumentos

2.3.1 Controlador

O controle da planta piloto é realizado através do controlador Freelance 2000 Select da ABB apresentado na figura 8. Este possui em sua estrutura dois módulos responsáveis por toda comunicação entre os elementos constituintes da planta. Um deles é o módulo *EI 803F* cuja função é proporcionar um ponto de conexão Ethernet, necessária neste projeto para o estabelecimento da comunicação com o PC. O outro módulo é o *Profibus DPV1*, o qual possui a finalidade de gerênciar a rede Profibus-DP e assim interagir com os instrumentos que utilizam este protocolo de comunicação bem como com o módulo de I/O S900, e através deste indiretamente com os outros dispositivos de I/O.

Figura 8 – Controlador Freelance 2000 Select

Fonte: Produção do próprio autor.

2.3.1 Módulo de I/O S900

O módulo de I/O S900, destacado na figura 9, é o elemento responsável pela interação do controlador com diversos instrumentos presentes na planta piloto, de maneira mais especifica, este é responsável por gerar os sinais de corrente contidos no intervalo de 4 a 20 mA para o funcionamento das válvulas de controle e da bomba centrífuga, além da aquisição do sinal de corrente também contido no mesmo intervalo citado proveniente do medidor de pressão diferencial 2051 e também proporcionar o acionamento on/off do resistor utilizado para aquecimento do fluido no reservatório superior.

Este é composto por:

- Fonte própria de alimentação *PS24* .
- Cartões *CI920N* responsáveis por estabelecer a conexão entre o módulo e o controlador (somente um deles está em uso).
- Cartão *AI930N* responsável por obter sinais analógicos de corrente (cartão de entrada analógica)
- Cartão *AO920N* responsável pela geração de sinais analógicos de corrente (cartão de saída analógica)
- Cartões *DX910N*, podem atuar tanto como cartões de entrada digital quanto cartões de saída digital, porém não como ambos simultaneamente

Figura 9 – Módulo de I/O S900

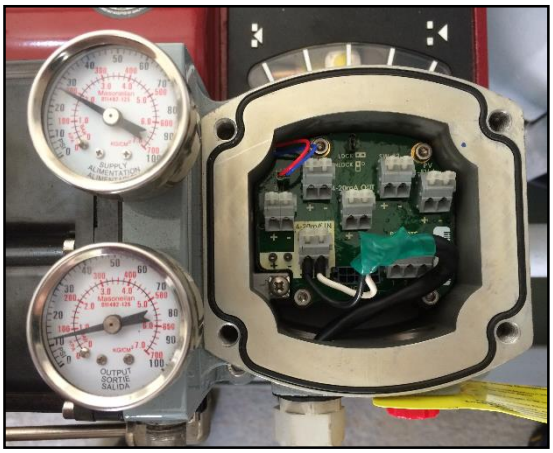
Fonte: Produção do próprio autor.

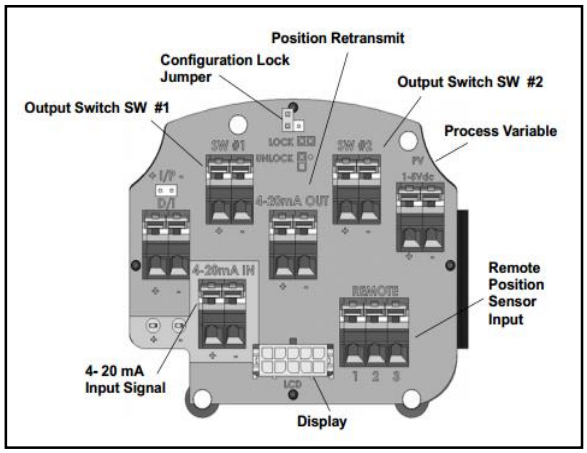
Para conectar o módulo S900 com o controlador deve-se interligar o terminal localizado abaixo do cartão de comunicação *CI920N* ativo ao terminal do módulo *Profibus DPV1* citado anteriormente.

2.3.2 Válvulas de controle

Para realizar o acionamento das vávulas de controle é necessário conectar os terminais de entrada de corrente localizados na placa de circuito impresso existente dentro da estrutura do posicionador microprocessado *SVI II AP*, apresentado na figura 10, em um dos canais do cartão de saída analógica presente no módulo de I/O S900.

Figura 10 – Posicionador SVI II AP

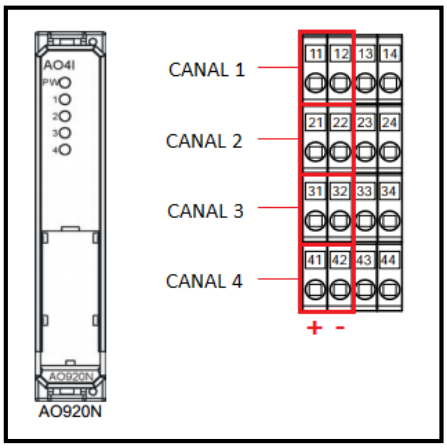




Fonte: Produção do próprio autor. (esquerda)
Masoneilan, 2008. (direita)

Como descrito na seção anterior, o cartão responsável pela geração dos sinais de corrente de 4 a 20 mA é *AO920N*. Através deste pode-se acionar simultaneamente até quatro atuadores, em virtude dos quatro canais disponíveis no mesmo, como pode ser observado na figura 11.

Figura 11 – Disposição dos canais no cartão *AO920N*

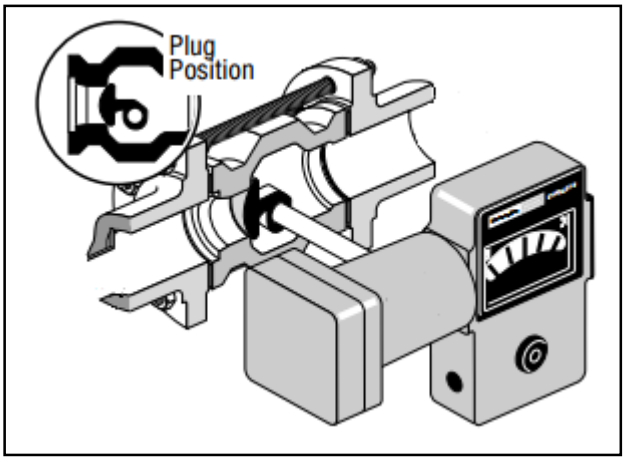


Fonte: Produção do próprio autor

Atualmente a válvula de controle V1 está conectada ao canal 4 deste cartão, enquanto a válvula V2 é acionada através do canal 1. De acordo com o sinal de corrente enviado para os

posicionadores das válvulas, um algorítmo de controle implementado nos mesmos estabelece qual deve ser a abertura destas em um determinado instante, liberando a passagem do fluido de processo ou obstruindo a mesma conforme a figura 12.

Figura 12 – Esquema de funcionamento das válvulas de controle



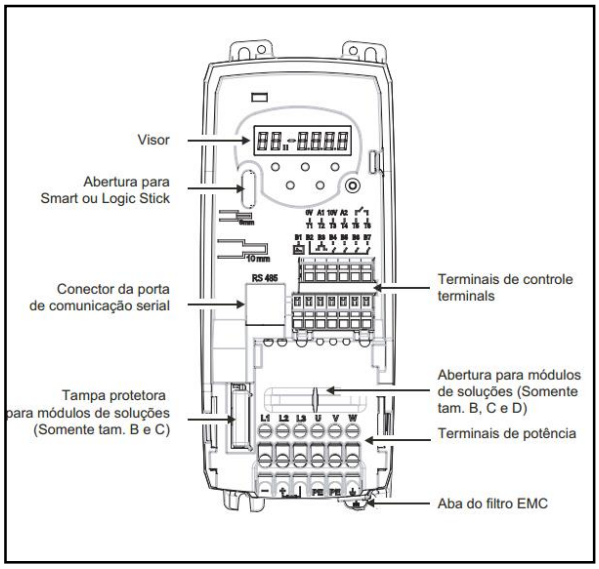
Fonte: Masoneilan, 2003

Ambos os posicionadores SVI II AP podem ser configurados através de dispositivos que possuam comunicação HART. Os parâmetros atuais destes determinam que os mesmos devem trabalhar com uma caraterística linear portanto como estas válvulas são do tipo *ar para abrir*, um valor de corrente igual a 4 mA mantém as mesmas fechadas ao passo que para 20 mA estas devem estar totalmente abertas. Deve-se ressaltar que para operar as válvulas é imprescindível que seja configurada uma pressão de 20 psi no filtro regulador para que a alimentação de ar disponibilizada pelo compressor seja manipulada na medida certa pelo posicionador para movimentar a mola responsável pela posição do obturador.

2.3.3 Bomba

A alimentação da bomba responsável por enviar a água do tanque inferior para o tanque superior é suprida pelo inversor de frequência instalado dentro do painel de potência descrito na seção 2.2. Este equipamento é o *Commander SK* da *EMERSON* modelo *SKA 1200037* com capacidade para atender um motor cuja potência nominal é de 0.5 hp .Seu esquema está representado na figura 13.

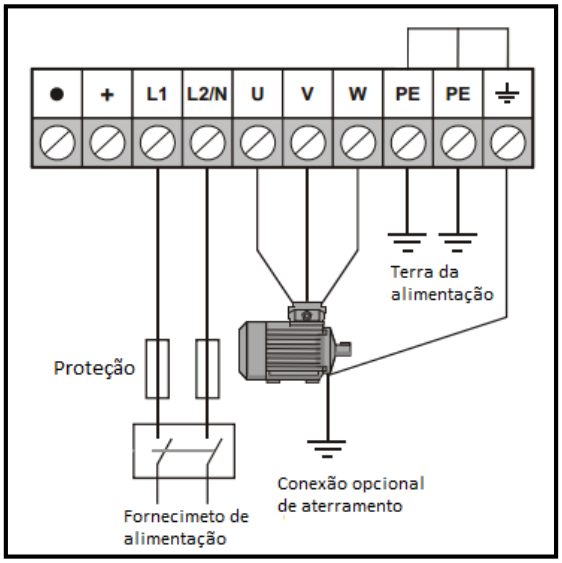
Figura 13 – Terminais de ligação do inversor de frequência



Fonte: Emerson, 2013.

Para proporcionar a alimentação da bomba deve-se utilizar os terminais de potência descritos na figura anterior. As conexões de potência foram feitas conforme a figura a seguir, onde L1 e L2/N são os terminais onde estão ligadas as fases da rede, ao passo que U,V e W se referem às fases utilizadas para alimentar a bomba, como apresentado na figura 14.

Figura 14 – Conexões de potência

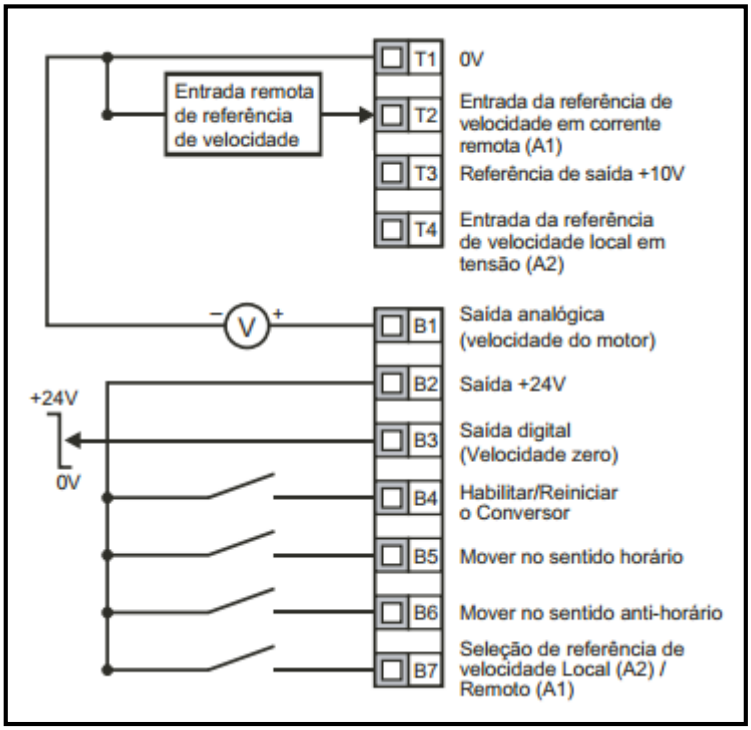


Fonte: Emerson, 2013. (modificado pelo autor).

O controle de velocidade da bomba pode ser feito de vários modos diferentes através do inversor, porém o parâmetro utilizado para esta finalidade será uma referência de corrente no

intervalo de 4 a 20 mA assim como descrito anteriormente para as válvulas de controle. Para realizar o controle de velocidade da maneira citada, deve-se primeiramente tomar algumas ações em relação aos terminais de controle, estas são: interligar o terminal B2 ao terminal B4, garantindo ao inversor que este se encontra habilitado para atuar, ao terminal B5 ou B6, conforme o sentido de giro desejado, e por fim ao terminal B7, para definir que a variável utilizada como referência para o controle de velocidade seja a corrente. Todos estes terminais estão apresentados na figura 15.

Figura 15 – Conexões de comando



Fonte: Emerson, 2013. (modificado pelo autor).

O cartão responsável pelo fornecimento do sinal de corrente ao inversor é o mesmo descrito anteriormente para as válvulas de controle, desta forma a conexão foi realizada entre os terminais de controle T1 e T2 do inversor e o canal número 3 do cartão *AO920N*.

2.3.4 Resistor de aquecimento

O resistor apresentado na figura 16 está situado dentro do tanque superior, sendo utilizado para elevar a temperatura do fluido de processo, entrando em funcionamento por meio de um contator localizado no painel de potência. Para que o contator atue, é necessário que a bobina

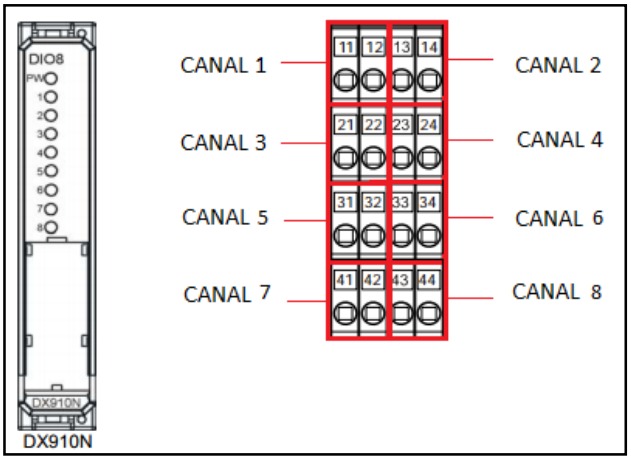
de acionamento do mesmo seja submetida à uma tensão alternada de 220V, proporcionada pelo contato normalmente aberto do relé situado ao lado do contator.

Figura 16 – Contator e relé de acionamento

Fonte: Produção do próprio autor.

O relé citado anteriormente necessita de uma tensão contínua de 24 V em sua bobina de acionamento para que seu contato normalmente aberto seja fecado estabelecendo as condições necessárias para o funcionamento do contator. Para acionar o relé foi utilizado o cartão de saída digital presente no módulo de I/O S900. O cartão responsável pela interação com as variáveis digitais é o DX910N. Este pode ter seus canais definidos como entradas ou saídas individualmente e esta exibido na figura 17.

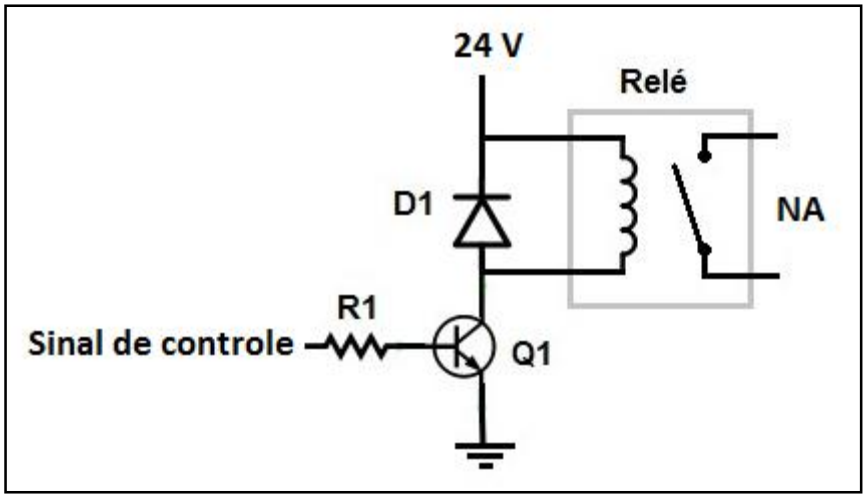
Figura 17 - Disposição dos canais no cartão *DX910N*



Fonte: Produção do próprio autor.

Atualmente existem 2 cartões do tipo DX910N no módulo S900, sendo assim, foi determinado que o cartão que está inserido no *slot* 3 do barramento seja responsável pelas saídas digitais enquanto o cartão localizado no *slot* 4 corresponde às entradas digitais, posteriormente será mostrado como realizar estas configurações. É importante salientar que o módulo de I/O S900 é utilizado em áreas de segurança intrínseca, portanto não é possível acionar o relé diretamente do cartão, portanto um circuito proporcionou o acionamento do mesmo por meio de um transistor atuando como chave conforme a figura 18.

Figura 18 – Esquema do circuito utilizado para o funcionamento do relé



Fonte: Produção do próprio autor.

2.3.5 Transmissores Profibus

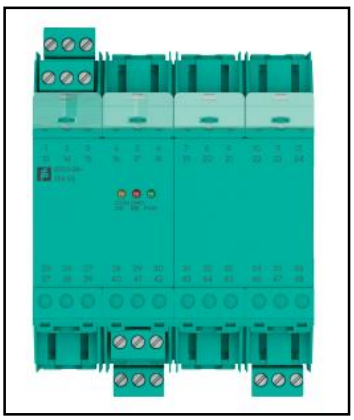
Na planta piloto existem dois elementos utilizados para medição que se comunicam com o controlador através da rede Profibus, estes são o transmissor de pressão diferencial 2010TD e o transmissor de temperatura TF12-Ex, ambos produzidos pela ABB. Estes dispositivos estão interconectados na multibarreira MB 204-Ex, uma estrutura similar a uma caixa de interligação para distribuir a comunicação entre os elementos da rede Profibus, apresentada na figura 19.

Figura 19 – Multibarreira MB 204-Ex

Fonte: ABB, 2003 (esquerda)
Produção do próprio autor (direita)

Como citado anteriormente o módulo responsável pelo gerenciamento da rede Profibus *Profibus DPV1* faz o uso de uma versão do protocolo chamada Profibus DP. Ao passo que os transmissores citados nesta seção foram projetados para trabalhar utilizando de outra versão deste mesmo protocolo, o Profibus PA, torna-se necessário o uso de um elemento para criar compatibilidade entre os dois lados da rede, este é o Acoplador de Profibus DP para Profibus PA KFD2-BR, representado na figura 20, responsável pela conversão do sinal.

Figura 20 - Conversor Profibus PA/DP

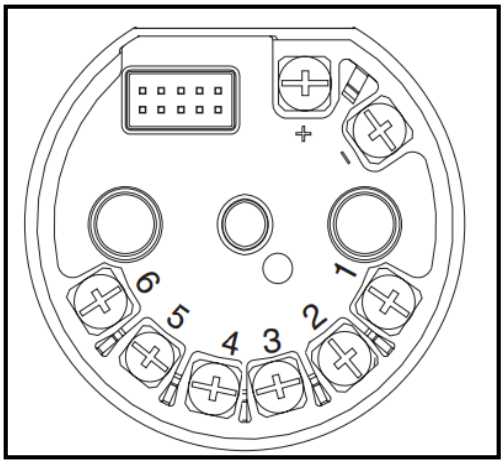


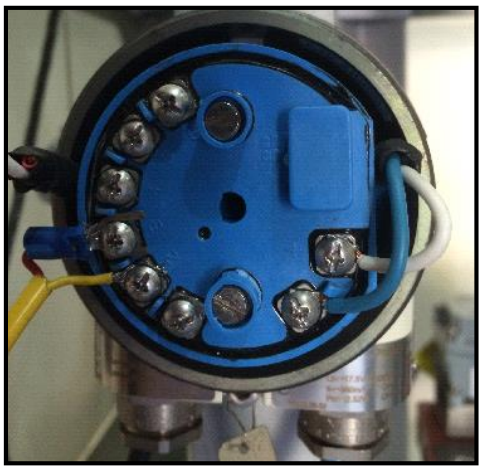
Fonte: Pepperl+Fuch, 2002.

Para o funcionamento correto deste dispositivo, deve-se conectar os fios provenientes da multibarreira MB 204-Ex nos terminais 13,14 e 15. O sinal em profibus DP está disponível nos terminais 28,29 e 30 para ser conectado ao módulo *Profibus DPV1*, assim como o módulo de I/O S900 citado anteriormente.

O transmissor de temperatura TF12-Ex, mostrado na figura 21, pode ser utilizado com vários tipos de elementos sensores, como Pt100, termopar, configurações compostas entre outros, além de proporcionar vários tipos de ligações como, a dois fios, três fios ou quatro fios. A função deste dispositivo consiste em adquirir o sinal proveniente do elemento sensor e disponibilizar de maneira adequada ao controlador. Atualmente está sendo utilizado na planta piloto um termopar tipo K para efetuar a medição da temperatura do fluido no interior do tanque superior. De acordo com o código ANSI MC 96.1 este elemento sensor é formado por dois fios: um amarelo (+), formado por uma liga de Níquel-Cromo, e um vermelho (-), formado por uma liga de Níquel-Alumínio, onde o primeiro citado deve ser conectado ao terminal 2 do transmissor TF12-Ex enquanto o segundo ao terminal 3 do mesmo, além dos terminais + e – deste estarem conectados à multibarreira citada anteriormente.

Figura 21 – Transmissor de temperatura TF12-Ex





Fonte: ABB, 2005. (esquerda)
Produção do próprio autor. (direita)

O transmissor de pressão 2010TD está localizado na tubulação de saída do reservatório superior, este é um transmissor de pressão diferencial microprocessado, cuja função é gerar um sinal de saída de acordo com a diferença de pressão existente nos pontos de tomadas de pressão do mesmo. Através deste, pode-se ter acesso à diversas variáveis em virtude dos sensores embarcados dentro deste dispositivo como pressão estática, temperatura, entre outros. No entanto estes são apenas visuais e não podem ser importados para dentro do *software* de programação, como é possível fazer com os valores de pressão diferencial.

Como dito anteriormente, este transmissor de pressão tem uma de suas tomadas de pressão aberta para a atmosfera, para que a pressão medida em uma de suas tomadas possa ser relacionada com a altura do reservatório superior. Ao contrário do transmissor TF12-Ex este possui uma interface local para programação por meio de três botões situados na parte de cima do mesmo, mostrados na figura 22, através dos quais pode-se calibrar, escolher unidades, entre outras opções.

Figura 22 – Botões de configuração do 2010TD

Fonte: ABB,2001.

2.3.6 Transmissor de pressão diferencial 2051

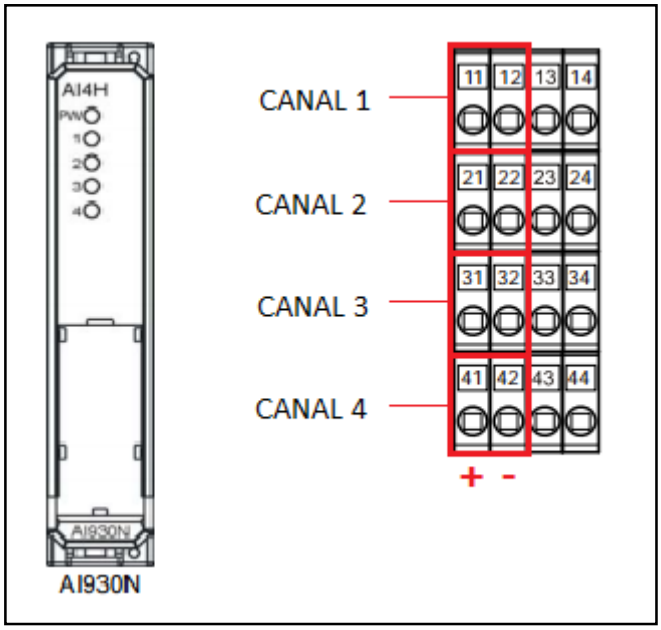
Outro dispositivo usado para aquisição de dados é o medidor de pressão diferencial localizado na tubulação de entrada do fluido no reservatório superior, conforme a figura 23, cuja função é proporcionar a medida de vazão daquele fluido ao longo da mesma, com a utilizaçao de uma placa de orifício.

Figura 23 – Transmissor de pressão diferencial 2051

Fonte: Produção do próprio autor.

A resposta deste dispositivo para o controlador é feita através da entrada do sinal de corrente contido no intervalo de 4 a 20 mA em um canal do cartão responsável pelas entradas analógicas *AI930N*, apresentada na figura 24. Deve-se ressaltar que é um cartão *ativo*, ou seja, apesar de ser um dispositivo responsável por receber sinais de corrente, este proporciona a tensão necessária para que o transmissor funcione.

Figura 24 - Disposição dos canais no cartão *AI930N*



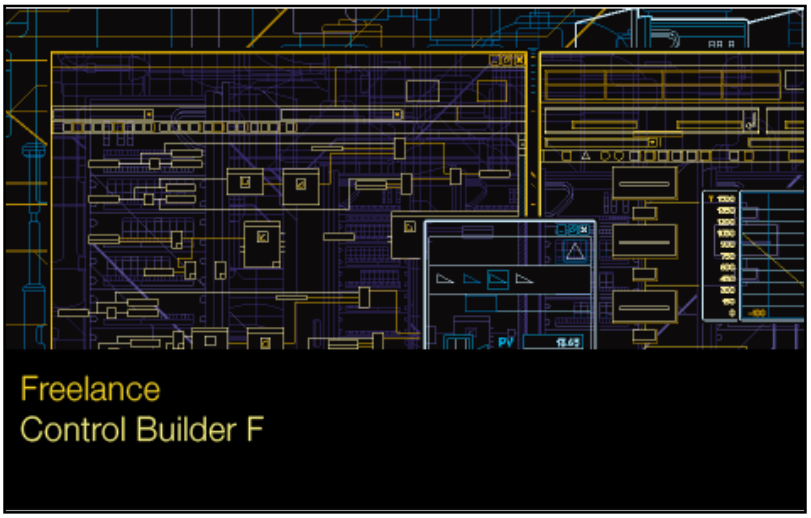
Fonte: Produção do próprio autor.

Assim como as válvulas de controle, este transmissor pode ser configurado através de um dispositivo que possua comunicação HART. Vários parâmetros podem ser modificados além de alguns serem necessários para adequação dos valores a serem medidos com a realidade bem como executar funções de calibração, entre outras.

3 CONTROL BUILDER F

O *software* utilizado no desenvolvimento da lógica de programação do cenário constituido pela planta piloto e os demais instrumentos é o Control Builder F. Este permite que sejam feitas configurações *online* e *offline* de uma série de controladores, incluindo o Freelance 2000 existente na planta. Através deste software defini-se o *hardware* e *software* do projeto, incluindo a lógica de aquisição de dados e acionamentos, sistema supervisório, entre outros.

Figura 25 – Tela de apresentação do Control Builder F



Fonte: Produção do próprio autor.

O Control Builder F provê suporte a todas as linguagens de programação previstas na norma IEC 61131-3:

- Diagrama de Blocos Funcionais,
- Ladder,
- Lista de Instruções
- Texto Estruturado
- Sequenciamento Gráfico de Funções.

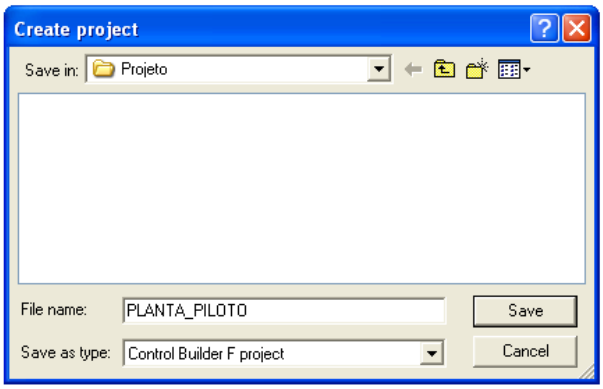
O Control Builder F possui uma biblioteca com mais de 220 blocos funcionais além de uma extensa biblioteca contendo símbolos gráficos, que por sua vez podem ser utilizados para constituir telas de supervisório do sistema em questão. Outro ponto importante referente ao Control Builder F diz respeito à possibilidade de simulação do projeto mesmo sem a utilização

de nenhum *hardware*, obviamente com algumas limitações, além de dispor de uma ferramenta fundamental para projetos de maior dimensão chamada de "Cross-referencing", a qual permite que sejam feitas referências cruzada de variáveis, possibilitando o conhecimento de todos os locais onde determinada variável é utilizada, escrita e lida, inclusive na interface gráfica.

3.1 Criação do projeto

O início desta etapa parte da criação de um novo projeto, portanto deve-se abrir o Control Bulder F e clicar no menu principal em *Project*, *New*, conforme a figura 26. A janela apresentada na figura 26 a seguir será aberta, onde o usuário deve especificar o local de armazenamento e o nome do arquivo que conterá o projeto.

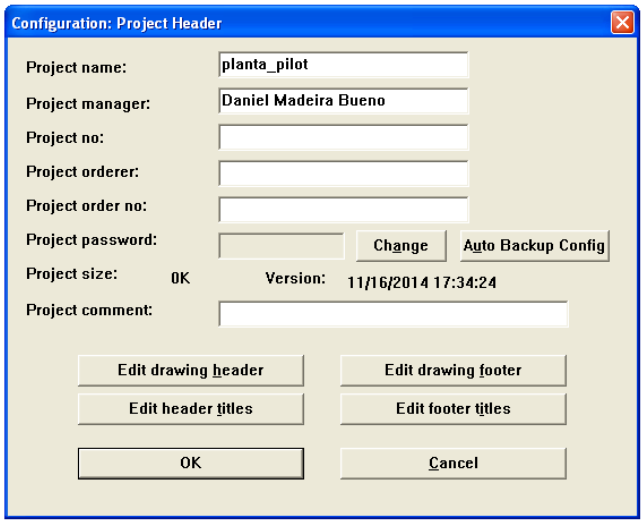
Figura 26 – Criação de um novo projeto



Fonte: Produção do próprio autor.

Após a criação do projeto, uma nova janela é aberta, *Configuration: Project Header*, relacionada ao cabeçalho do projeto, apresentado na figura 27, onde o usuário pode adicionar algumas informações específicas do projeto. Neste ponto é possível que o mesmo escolha um nome para o projeto diferente do nome definido para o arquivo criado, embora automaticamente esteja pré-estabelecido este nome igual ao dado ao arquivo no passo anterior respeitando um determinado limite na quantidade de caracteres e em letras minúsculas. Quando finalizada a inserção de informações deve-se clicar em *OK* para ter acesso ao projeto recém criado.

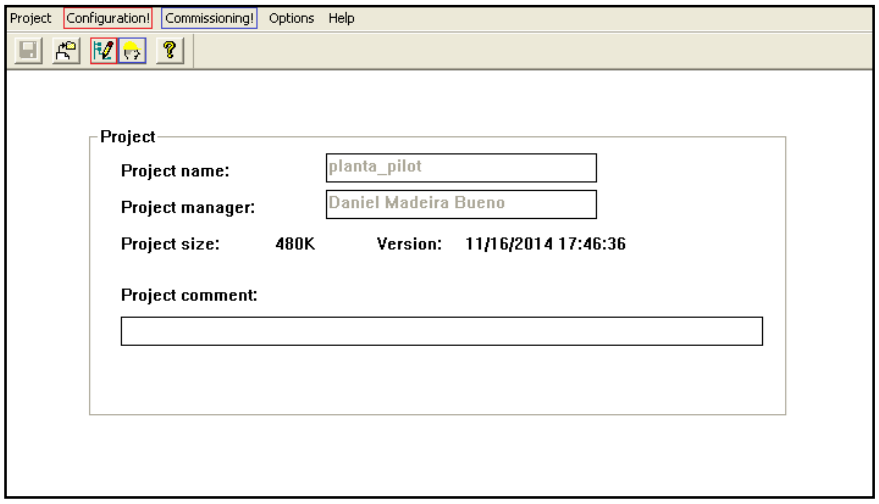
Figura 27 – Cabeçalho do projeto



Fonte: Produção do próprio autor.

A figura 28 representa a tela inicial do programa, onde existem alguns itens no menu principal, dos quais, dois deles exigem atenção especial, referentes aos modos de manipulação do projeto, estes são: *Configuration* e *Comissioning*, que também podem ser acessados na barra de ferramentas através de seus respectivos ícones.

Figura 28 – Tela inicial do projeto



Fonte: Produção do próprio autor.

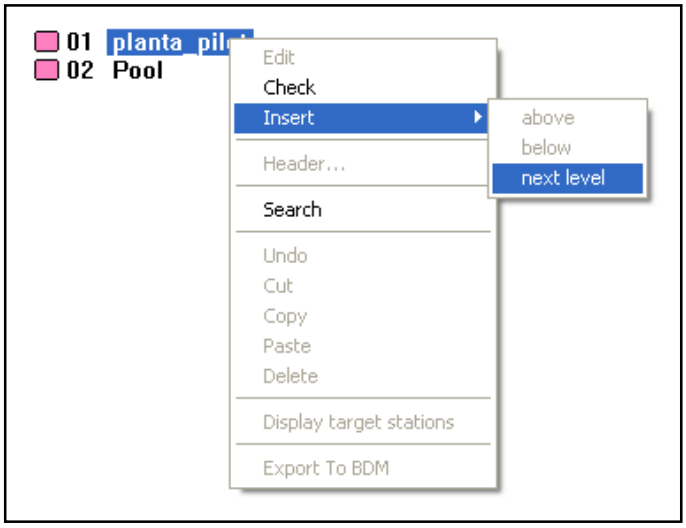
No modo *Configuration* são definidos os programas responsáveis por gerenciar a lógica do sistema de controle incluindo as variáveis e *tags*, a configuração do *hardware* utilizado, endereços de rede dos vários elementos que fazem parte do projeto, além de funções específicas

dos cartões de entrada e saída que podem ser feitas somente neste modo. Em contrapartida no modo *Comissioning*, é possível fazer a transferência do programa para dentro do controlador e realizar as ações necessárias de interação com o sistema, como por exemplo a alteração do conteúdo das variáveis em tempo real.

3.2 Criação da Árvore do Projeto

Para iniciar o desenvolvimento do projeto, deve-se clicar em *Configuration*, fazendo com que a árvore do projeto apareça na tela. Nela se encontram os elementos constituintes do projeto. Observa-se que inicialmente existem dois nós: a pasta do projeto, cujo nome foi escolhido anteriormente, e a pasta Pool, que por sua vez será utilizada para armazenar dados temporários, possuindo portanto a função de uma pasta de rascunho. Desta forma deve-se selecionar o nó referente ao projeto, e ao clicar com o botão direito, seleciona-se a opção *insert* e posteriormente *next level* , como mostra a figura 29.

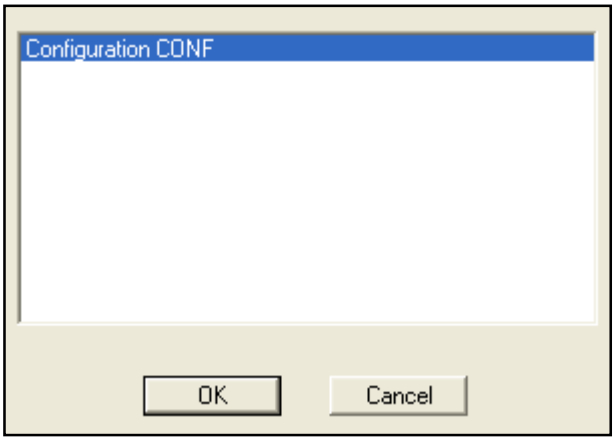
Figura 29 – Criação da árvore do projeto



Fonte: Produção do próprio autor.

Uma nova janela é aberta denotando os elementos que podem fazer parte deste próximo nível criado. Neste momento existe apenas uma opção: *Configuration CONF*, como mostra a figura 30. Para prosseguir basta clicar no botão *OK* e posteriormente abre-se uma janela onde é possível inserir algum comentário e até mesmo definir um nome para este nível, além de outras opções, porém pode-se prosseguir com a configuração pré-estabelecida.

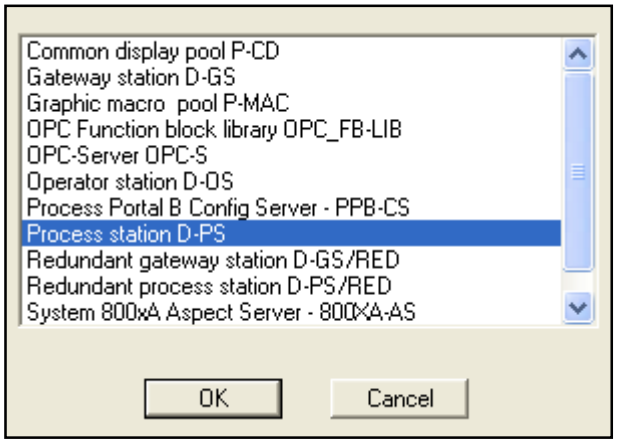
Figura 30 – Inserção do nível de configuração



Fonte: Produção do próprio autor.

Neste ponto deve-se adicionar o nó referente à Estação de Processamento (*Process Station*), responsável pela interação do programa com o controlador, conforme a figura 31. O procedimento para a inserção da mesma é igual ao utilizado anteriormente: seleciona-se o nível de configuração, neste trabalho definido como *planta_pilot (CONF)*, clica-se com o botão direito do *mouse*, em *insert*, e posteriormente em *next level*.

Figura 31 – Inserção da estação de processamento

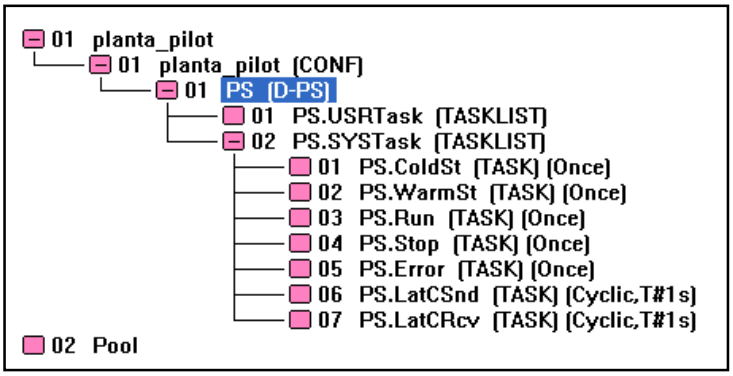


Fonte: Produção do próprio autor.

Como resultado da realização da ação anterior referente à Estação de Processamento *Process station D-PS*, duas listas de tarefas são automaticamente criadas de acordo com a figura 32, são elas: *System Tasks*, contendo sete tarefas préviamente criadas responsáveis por funções do sistema e *User Tasks* onde são criadas tarefas específicas do programa, podendo estas serem

cíclicas ou disparadas por um evento, no intuito de controlar a execução dos programas como apresentado pela figura a seguir.

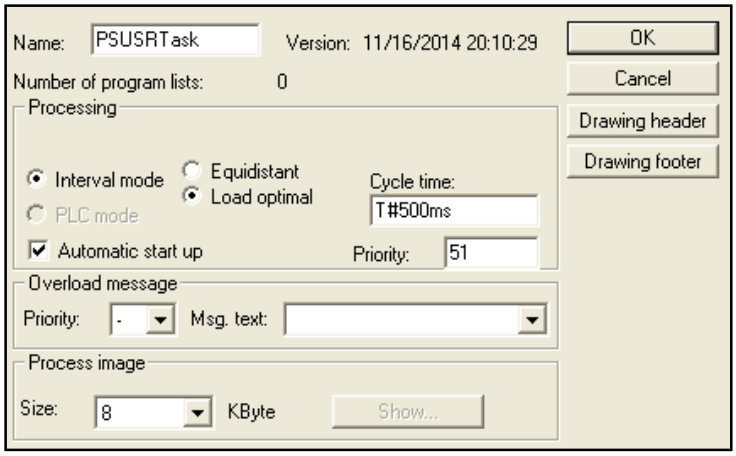
Figura 32 – Tarefas do sistema e tarefas do usuário



Fonte: Produção do próprio autor.

Finalmente para inserir uma tarefa onde podem estar localizados os programas para implementação da lógica de controle, deve-se inserir um próximo nível a partir do nó denotado por *User Tasks* como feito anteriormente e escolher a opção *Task TASK*. Desta forma, a janela de configuração da tarefa, apresentada na figura 33, possibilita que alguns parâmetros sejam definidos.

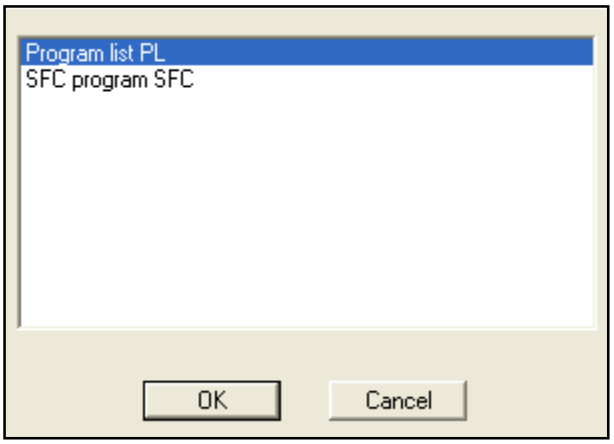
Figura 33 – Configuração dos parâmetros de uma tarefa



Fonte: Produção do próprio autor.

Pode-se então adicionar às tarefas criadas anteriormente uma lista de programas ou um programa em SFC. Para isso basta selecionar uma determinada tarefa e clicar com o botão direito para inserir um próximo nível.

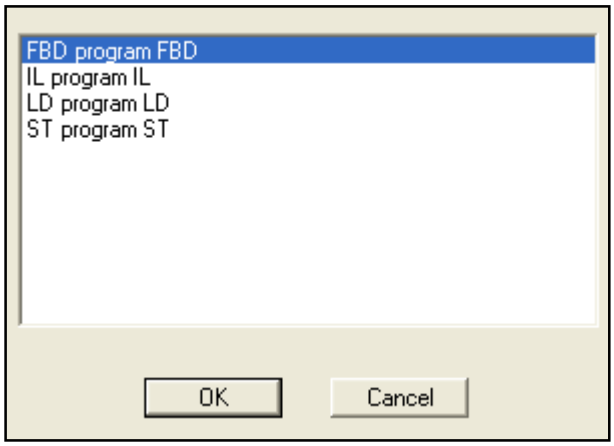
Figura 34 – Seleção entre um programa em SFC e um proveniente da lista de programas



Fonte: Produção do próprio autor

Deve-se ressaltar que a lista de programas é apenas um elemento estrutural, sendo que após inserida, pode-se adicionar a partir da mesma programas em 4 linguagens distintas. Neste projeto, a lógica de operação do processo foi implementada em diagrama de blocos, cuja área de desenvolvimento pode ser inserida conforme a escolha realizada mostrada na figura 35.

Figura 35 – Seleção do diagrama de blocos entre as opções disponíveis

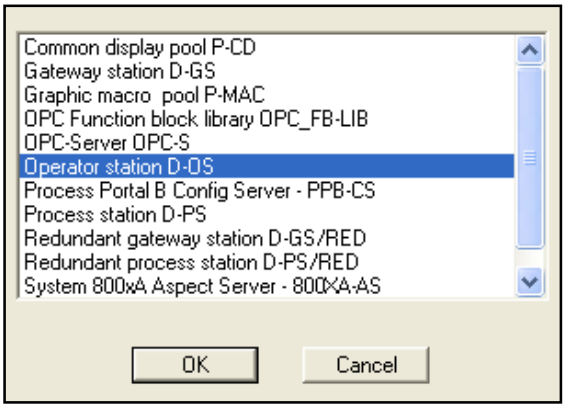


Fonte: Produção do próprio autor

Para que seja possível existir a interação do operador com o processo, deve-se criar o nó referente à Estação de Supervisão (*Operator Station*), responsável pela relação do programa com o sistema supervisório. O procedimento para a inserção da mesma é igual ao utilizado anteriormente para a Estação de Processamento: seleciona-se o nível de configuração, neste

trabalho definido como *planta_pilot (CONF)*, clica-se com o botão direito do *mouse* e em *insert*, e posteriormente em *next level* conforme apresentado na figura 36.

Figura 36 – Inserção da estação de supervisão

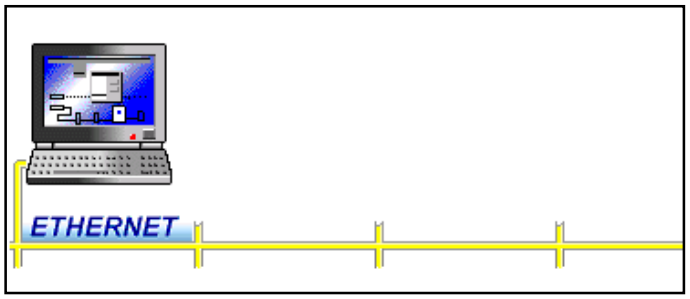


Fonte: Produção do próprio autor.

3.3 Definição do *Hardware* do Projeto

Após a configuração da estrutura da árvore do projeto deve-se definir o *hardware* utilizado bem como realizar a conexão entre a árvore do projeto e o mesmo. Dessa forma deve-se abrir o menu *Hardware Structure*, na barra de ferramentas. Sendo assim, uma nova janela é apresentada conforme a figura 37, onde apenas a Estação de Engenharia é mostrada, representada por um computador, e uma conexão Ethernet.

Figura 37 – Estação de engenharia

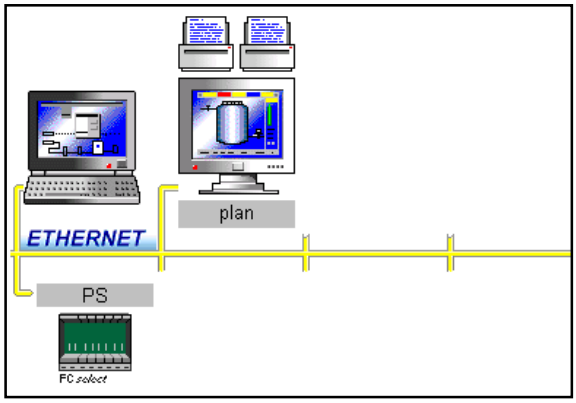


Fonte: Produção do próprio autor

Neste ponto é necessário incluir os novos elementos de *hardware*. Primeiramente deve-se inserir o controlador, bastando para tal escolher *FCSELECT* clicando com o botão direito abaixo da estação de engenharia presente na figura 37. Em seguida deve-se adicionar a Estação

de Supervisão, cujo procedimento é o mesmo descrito para inserir o controlador, porém, clica-se com o botão na região ao lado da Estação de Engenharia e seleciona-se *Operator Station*. Por fim deve-se selecionar os novos itens adicionados e com o botão direito clicar na opção *Resource Allocation* para relacionar estes com seus respectivos nós na árvore do projeto e o resultado será este mostrado na figura 38.

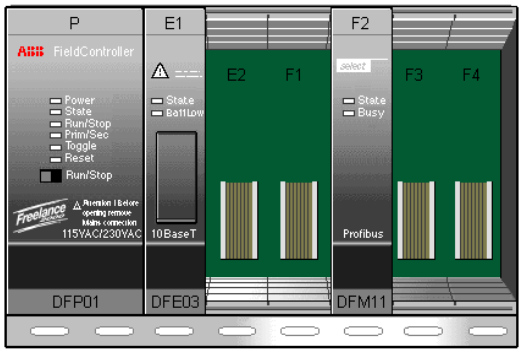
Figura 38 – Estrutura básica de *hardware*, estação de engenharia, estação de supervisão e controlador



Fonte: Produção do próprio autor.

O próximo passo na configuração do *hardware* é inserir todos os módulos que fazem parte do controlador, estes são: o módulo de alimentação, módulo de gerenciamento da rede Profibus e Ethernet. Para realizar a ação proposta, clica-se duas vezes sobre o controlador e insere-se os módulos de acordo com a localização real dos mesmos no controlador como ilusta a figura 39.

Figura 39 – Módulos do controlador Freelance 2000 Select

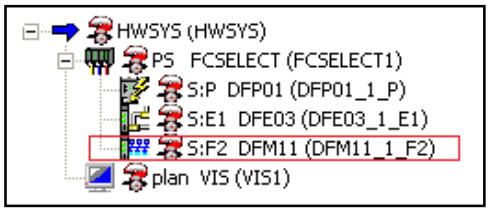


Fonte: Produção do próprio autor.

Uma vez inseridos os módulos do controlador, deve-se adicionar todos os outros dispositivos à serem utilizados, de maneira específica para a planta piloto em questão estes são: o módulo de I/O S900 juntamente com todos os cartões contidos no mesmo, além dos transmissores

Profibus. Para que estes elementos sejam reconhecidos no programa, deve-se instalar os arquivos que contém as especificações dos mesmos, os arquivos em questão podem ser do tipo GSD ou DTM, de forma que a grande diferença entre eles reside no fato de que os arquivos DTM são mais amigáveis devido à interface que possuem, proporcionando uma facilidade muito maior na configuração dos dispositivos, sendo por isso que foram utilizados para a configuração dos dispositivos na planta piloto. Além disso, possuem um executável próprio para instalação, portanto, são de fácil manuseio. Inicialmente deve-se localizar a árvore da estrutura de *hardware* à esquerda e clicar com o botão direito no módulo responsável pela rede Profibus e inserir a opção contendo *Profibus Master*, segundo a figura 40.

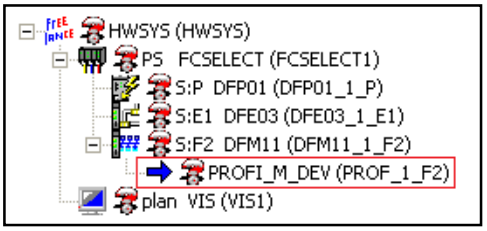
Figura 40 – Localização do módulo *Profibus DPV1*



Fonte: Produção do próprio autor.

Após a realização do procedimento descrito anteriormente, uma rede Profibus é gerada. Nesta serão inseridos os dispositivos Profibus citados, de forma que cada um deles deve ocupar um nó nesta rede e um endereço no barramento, que por sua vez é pré-determinado em cada dispositivo. Para adicionar um dispositivo, deve-se clicar com o botão direito na rede Profibus criada, destacada na figura 41, e escolher a opção para inserir um elemento do tipo *Profibus slave (DTM based, FDT-Version 1.2).*

Figura 41 – Criação da rede Profibus

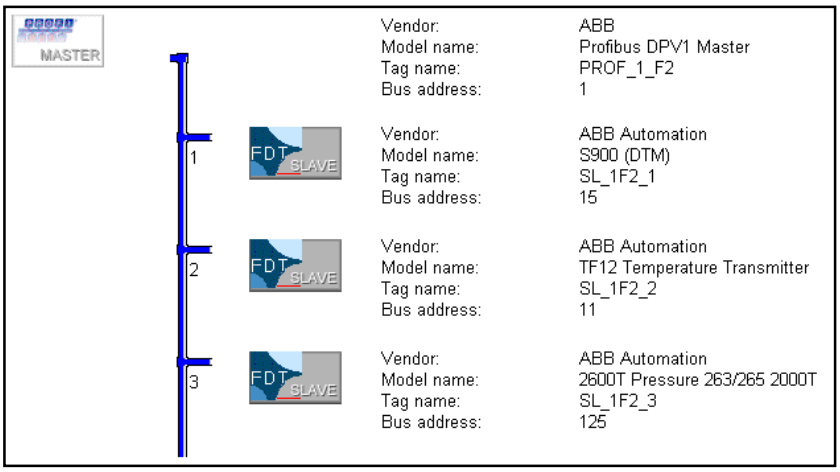


Fonte: Produção do próprio autor.

O primeiro elemento da rede Profibus inserido no programa responsável pelo processo da planta piloto foi o módulo de I/O S900, adicionado ao nó 1 da mesma rede e endereço de barramento

15. Em seguida está o transmissor de temperatura TF12-Ex localizado no nó 2, e endereço de barramento 11, e por fim o transmissor de pressão diferencial 2010TD inserido no nó 3 da rede, e endereço de barramento 125, conforme a figura 42.

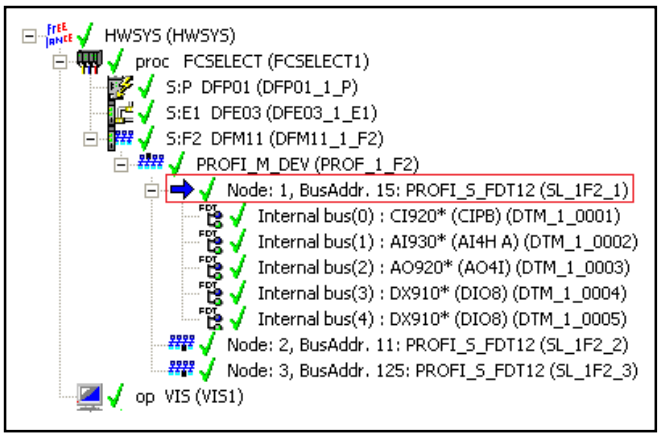
Figura 42 – Rede profibus completa



Fonte: Produção do próprio autor.

Para finalizar esta etapa de configuração do *hardware* deve-se inserir cada cartão existente no módulo de I/O S900. Para realizar esta ação, clica-se com o botão direito sobre o nó onde está localizado o módulo em questão e basta inserir os elementos. Deve-se ressaltar que é imprescindível que os cartões selecionados sejam os mesmos que estão instalados no módulo e na mesma ordem, assim como apresentado na figura 43.

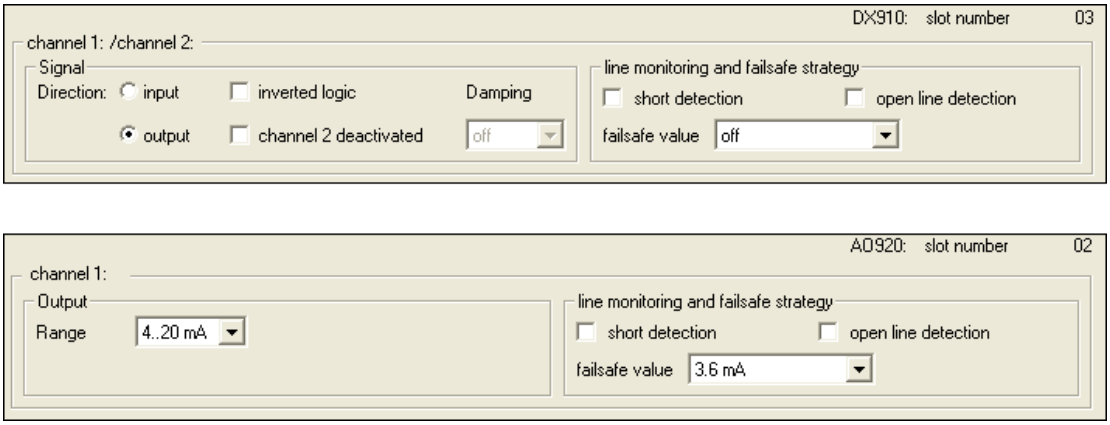
Figura 43 – Inserção dos cartões do módulo de I/O S900



Fonte: Produção do próprio autor.

Através da inserção dos diversos dispositivos utilizando seus respectivos arquivos DTM pode realizar várias funções pertinentes aos mesmos: em relação ao módulo de I/O S900, pode-se configurar vários parâmetros no modo *offline* enquanto no modo *online* é possível fazer diagnósticos quanto ao estado dos cartões que fazem parte do módulo, entre outras funções específicas de cada cartão. Para ter acesso aos recursos mencionados, deve-se selecionar o cartão desejado na árvore da estrutura de *hardware* e selecionar no menu *Select View* a opção *Offline Parameterize.* Isso permite para realizar uma configuração de parâmetros no modo *offline.* É possível definir, por exemplo, qual range será utilizado nos cartões de entrada e saída analógica, quais canais dos cartões DX910N serão utilizados como entrada ou saída digital, além de habilitar a detecção de circuito aberto e curto-circuito, entre outros, conforme a figura 44.

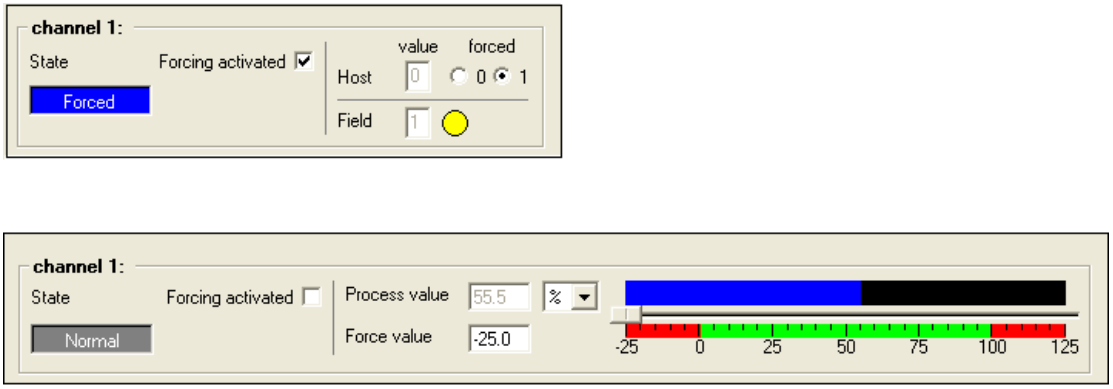
Figura 44 – Opções de configuração offline para cartão digital (acima) e cartão analógico (abaixo)



Fonte: Produção do próprio autor

A figura 44 exemplifica os tipos de configuração *offline* que podem ser feitos, no entanto, no modo *online* é possível executar funções pertinentes ao processo, como, forçar valores nas saídas para a realização de testes, podendo-se tanto gerar sinais de corrente de 4 a 20 mA através do cartão de saída analógica quanto acionar algum dispositivo através de uma saída digital, proporcionando nesta nível lógico 1. Para realizar estas ações deve-se selecionar o cartão em questão e posteriormente escolher a opção *Force* dentro do menu *Select View*. O resultado desta ação é representado na figura 45.

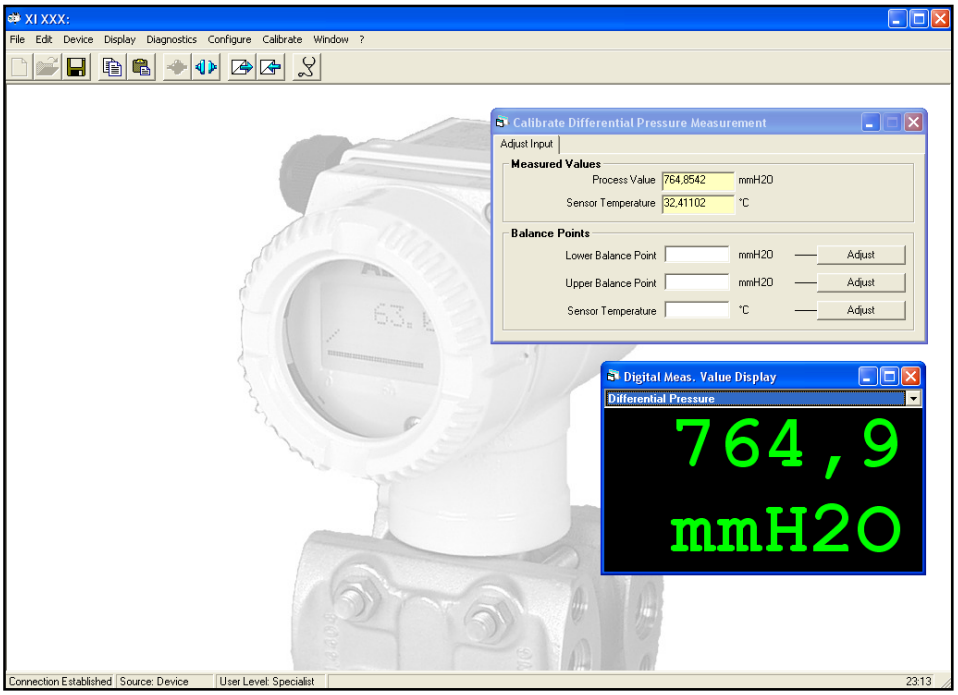
Figura 45 – Interface disponível para forçar sinais em cartão digital (acima) e cartão analógico (abaixo)



Fonte: Produção do próprio autor.

Assim como o módulo de I/O S900, os outros dispositivos instalados via DTM também possuem diversas funcionalidades, no caso do transmissor de pressão diferencial 2010TD, o arquivo DTM proporciona uma interface de simples entendimento conforme a figura 46, para que o usuário possa fazer alterações em vários parâmetros existentes, realizar calibração e ainda disponibiliza algumas outras variáveis como por exemplo temperatura porém somente para leitura.

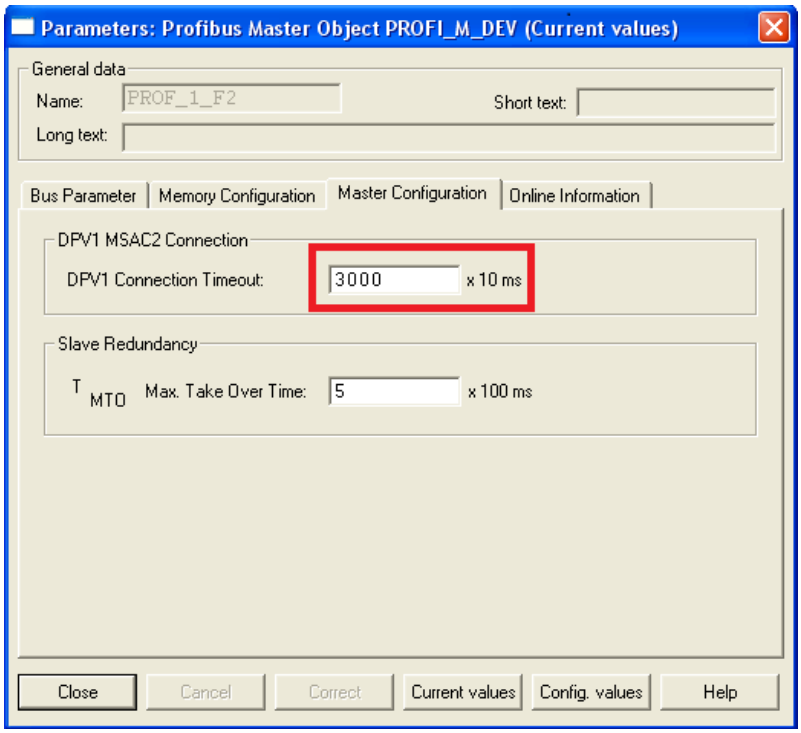
Figura 46 – Interface de configuração do transmissor 2010TD via DTM



Fonte: Produção do próprio autor

Antes de dar prosseguimento, as funcionalidades proporcionadas pelos arquivos DTM dos instrumentos existentes, deve-se disponibilizar uma informação importante à respeito do funcionamento do transmissor de temperatura TF12-Ex. O transmissor em questão necessita que seja feita uma mudança inicial em um parâmetro do módulo responsável pelo gerenciamento da rede Profibus, caso contrário não é possível estabelecer uma conexão entre o instrumento e o controlador. A modificação deve ser feita de acordo com a figura 47, a partir de um duplo clique no Mestre Profibus presente na árvore da estrutura de *hardware*.

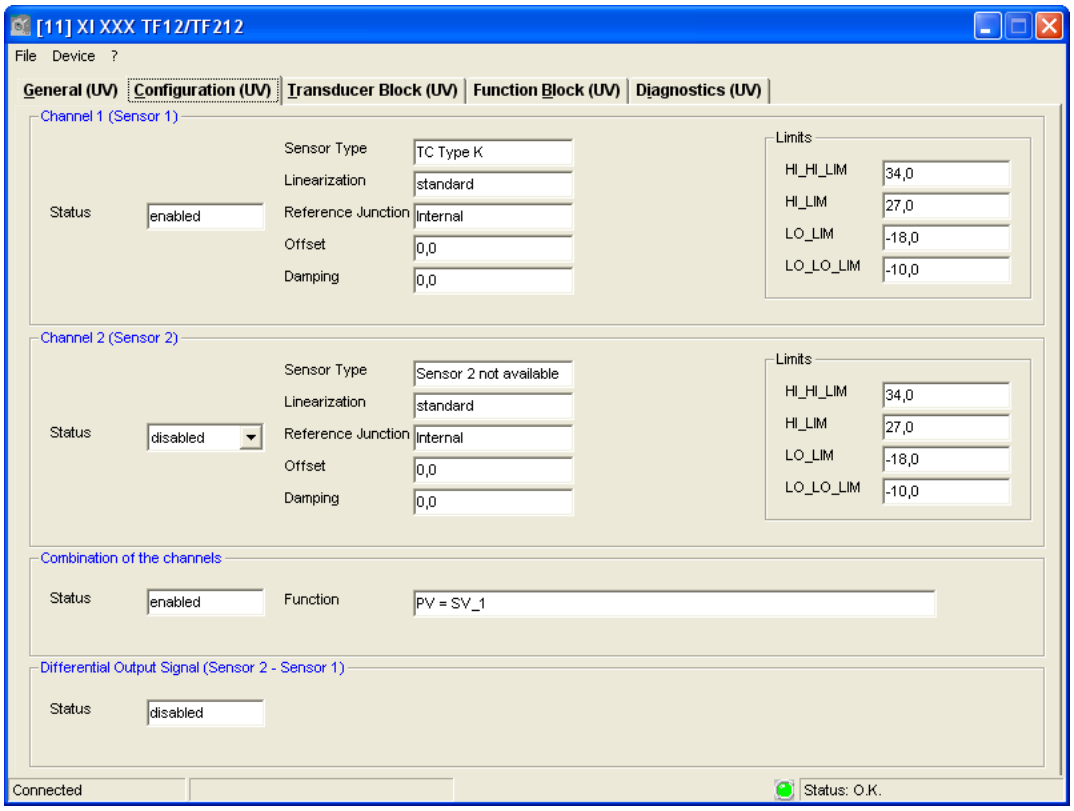
Figura 47 – Modificação do parâmetro para o funcionamento do transmissor TF12-Ex



Fonte: Produção do próprio autor.

A interface com o transmissor de temperatura também possui diversas funcionalidades em virtude de ter sido instalado através do respectivo arquivo DTM, assim como o operador pode fazer diversas mudanças no transmissor de pressão diferencial 2010TD, este pode também realizar diversas modificações no transmissor de temperatura em questão, como por exemplo, a escolha de qual elemento sensor está sendo utilizado para medição de temperatura bem como quantos são os elementos sensores, qual será a forma como a temperatura deve ser calculada, além de proporcionar a opção de realização de simulações, entre outros, conforme apresentado na figura 48.

Figura 48 - Interface de configuração do transmissor TF12-Ex via DTM



Fonte: Produção do próprio autor.

3.4 Configurações de Rede

A comunicação das estações de engenharia e supervisão, representada pelo computador onde é feita a programação, com o controlador é feita através de rede Ethernet. Para tanto, é preciso configurar os endereços IP no menu principal em *Project*, *Network*. Para esse projeto, o IP do controlador é fixo: 172.16.1.15 (DE Souza, 2011). O IP da estação de engenharia deve ser tal que esteja na mesma rede do controlador, portanto, foi escolhido o 172.16.1.16 e este deve ser igual para estação de supervisão.

4 INTRODUÇÃO À CRIAÇÃO DAS MALHAS DE CONTROLE DA PLANTA PILOTO

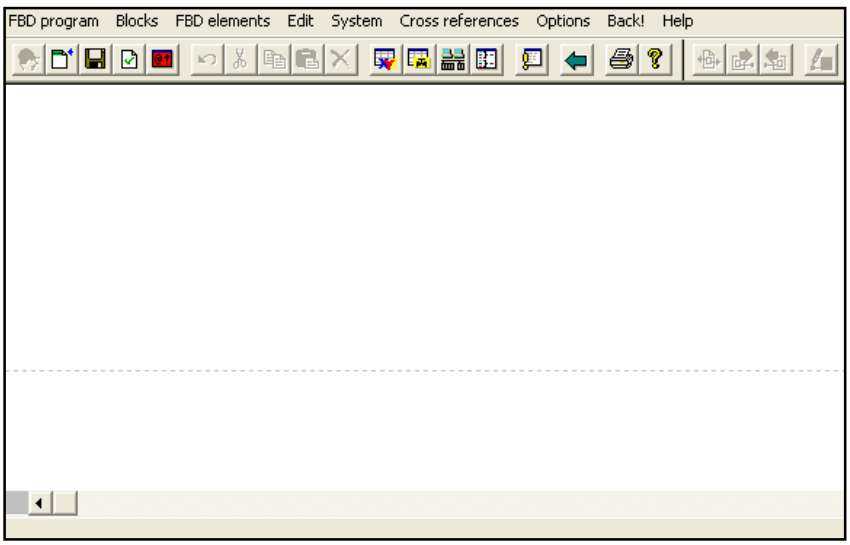
4.1 Introdução

Esta capítulo visa realizar uma introdução quanto ao possível funcionamento do sistema em um futuro próximo. É importante ressaltar que promover os acionamentos da planta por meio da implementação das malhas de controle fechadas foge ao escopo deste trabalho, bem como qualquer etapa posterior a esta.

4.2 Criação do diagrama de blocos

Neste trabalho, o programa responsável por manipular as variáveis de processo da planta piloto foi desenvolvido em diagrama de blocos como citado no capítulo anterior. Após a inserção de um Diagrama de Blocos Funcionais na árvore do projeto, clica-se no mesmo e assim abre-se uma nova janela referente ao ambiente de desenvolvimento da lógica a ser implementada, conforme a figura 49. Este é constituido por um tela em branco, onde pode-se inserir blocos, variáveis e desenhar suas conexões.

Figura 49 – Ambiente de desenvolvimento do diagrama de blocos funcionais

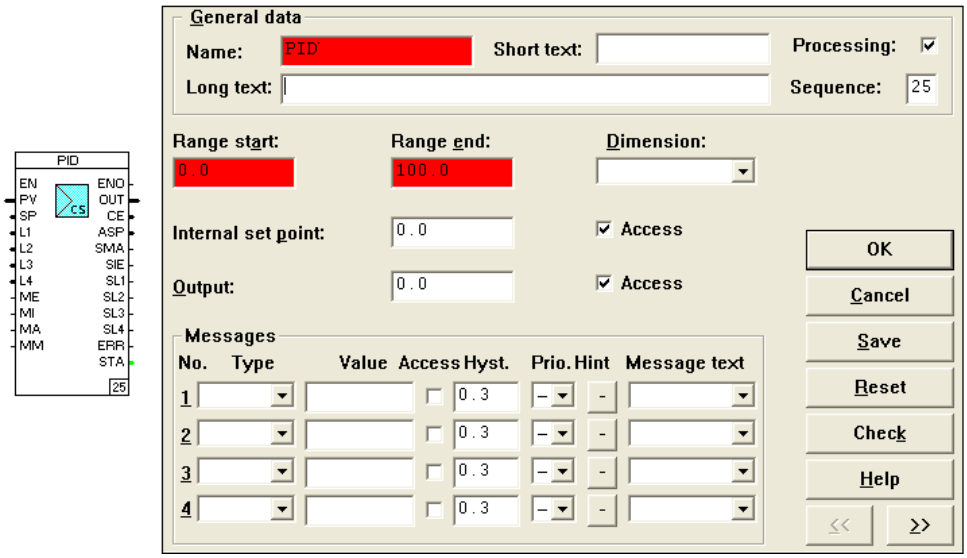


Fonte: Produção do próprio autor.

Para inserir os blocos, clica-se em *Blocks* no menu principal ou simplesmente seleciona-se a opção *Blocks* através do botão direito do mouse sobra a área de desenvolvimento e escolhe-se

o bloco desejado. Após definido o bloco em questão clica-se duas vezes sobre o mesmo, e uma nova janela é aberta para que sejam configurados seus parâmetros. Os campos que aparecem em vermelho são referentes à parâmetros que devem ser definidos obrigatóriamente, de acordo com a figura 50.

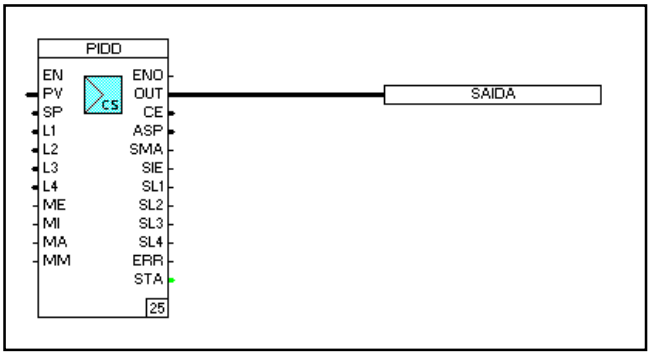
Figura 50 – Determinação dos parâmetros de um bloco de função



Fonte: Produção do próprio autor.

Nos blocos funcionais, uma linha comprida no terminal significa que essa entrada/saída deve ser conectada obrigatóriamente, enquanto uma linha pequena significa que sua ligação é opcional, na figura anterior pode ser observada esta distinção. Para desenhar as linhas de conexão entre os blocos, utiliza-se o botão esquerdo do mouse, pressionando a tecla Ctrl. No entanto, para auxiliar nas conexões, pode-se ir no menu *Options*, e na ferramenta *Raster on*, inserindo pontos na tela que auxiliam a confecção do desenho.

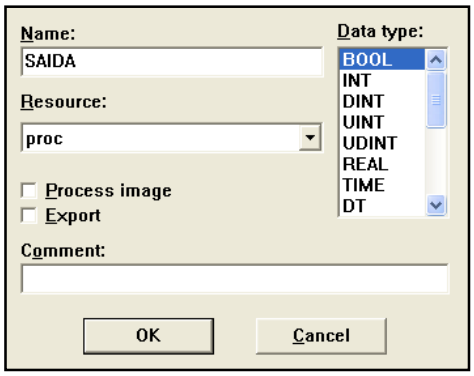
Figura 51 – Conexão entre 2 blocos de função



Fonte: Produção do próprio autor.

Para inserir variáveis, clica-se com o botão direito no ambiente de desenvolvimento, e seleciona-se *Variables* e a opção *read* ou *write*, para ler ou escrever na variável, respectivamente. Após a inserção do bloco citado anteriormente, deve-se definir qual variável aquele bloco estará representando, para isso deve-se dar um duplo clique no bloco e inserir o respectivo nome, caso não exista uma variável com este nome, esta será criada e define-se o tipo da mesma conforme a figura 52.

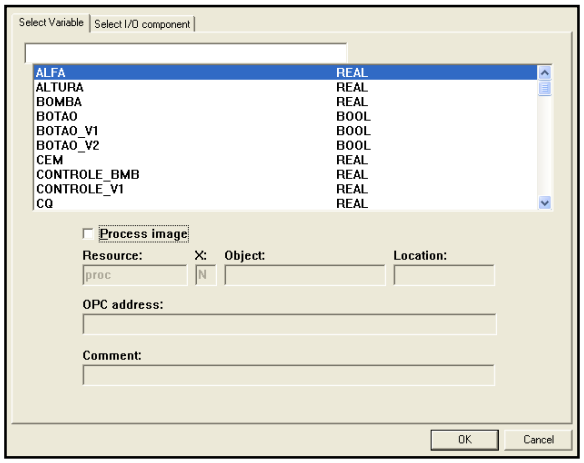
Figura 52 – Definição do tipo de uma variável



Fonte: Produção do próprio autor.

Caso seja desejado inserir no bloco em questão alguma variável que foi criada previamente, basta dar um duplo clique no mesmo e colocar o nome da variável ou pode-se pressionar o botão F2 e uma lista com todas as variáveis existentes será exibida como apresentado na figura 53.

Figura 53 – Lista para seleção de variáveis



Fonte: Produção do próprio autor.

Segundo (Vantil, 2009) é altamente recomendável utilizar uma imagem de uma variável global (*process image*), colocando um '@' na frente do nome da variável. Assim, uma cópia da variável global é feita para ser utilizada internamente à tarefa.

No momento em que o diagrama estiver finalizado, deve-se clicar no botão *Check*, na barra de ferramentas, para verificar possíveis erros, e em seguida, pode-se sair da área de desenvolvimento através do botão *Back* na barra de ferramentas, indicada por uma seta verde.

4.3 Malhas de controle

4.3.1 Introdução

Neste projeto serão consideradas 3 malhas de controle operacionais na planta piloto descrita em questão, estas são: as malhas de vazão, de nível e de temperatura. Na entrada do tanque superior, a vazão é regida por uma bomba acionada por inversor de freqüência, de forma que esta grandeza pode ser controlada tanto pelo acionamento da mesma quando pela válvula de controle presente na mesma tubulação. Em contrapartida na tubulação de saída do reservatório superior, fluido tem-se uma válvula de controle utilizada exclusivamente para o controle de nível no mesmo. Além disso, deve-se ressaltar a existência do banco resistivo dentro do reservatório superior, utilizado para fazer o controle de temperatura do fluido contido no mesmo. É imprescindível perceber que as malhas de nível, vazão e temperatura estão em um mesmo processo, com as variáveis dependendo fortemente umas das outras.

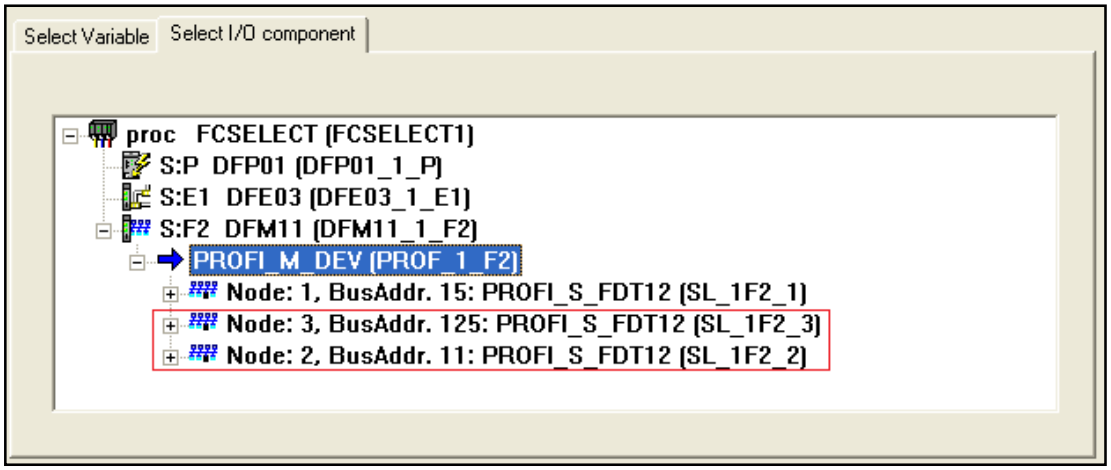
4.3.2 Aquisição e geração de sinais

Para a implementação das estratégias de controle propostas, é necessário que sejam disponibilizadas medidas das variáveis envolvidas, bem como a capacidade de atuar sobre dispositivos existentes no sistema para realizar o controle desejado. Para isso, deve-se fazer a aquisição de determinadas medições de interesse a partir dos instrumentos existentes, bem como gerar os sinais de controle.

4.3.2.1 Aquisição das medições

Os instrumentos utilizados para realização de medições das variáveis de interesse utilizadas para controlar as malhas já citadas são: o transmissor de temperatura TF12-Ex, e os transmissores de pressão diferencial 2010TD e 2051. Para realizar a aquisição dos dados referentes às variáveis de processo, deve-se realizar um procedimento semelhante ao descrito na seção 4.1, no entanto, deve-se criar blocos para a leitura de variáveis e associar a variável apropriada por meio da lista disponibilizada quando pressionado o botão F2, porém neste momento, é necessário selecionar a aba *Select I/O component*, como realizado na figura 54.

Figura 54 – Seleção das variáveis provenientes diretamente de dispositivos profibus



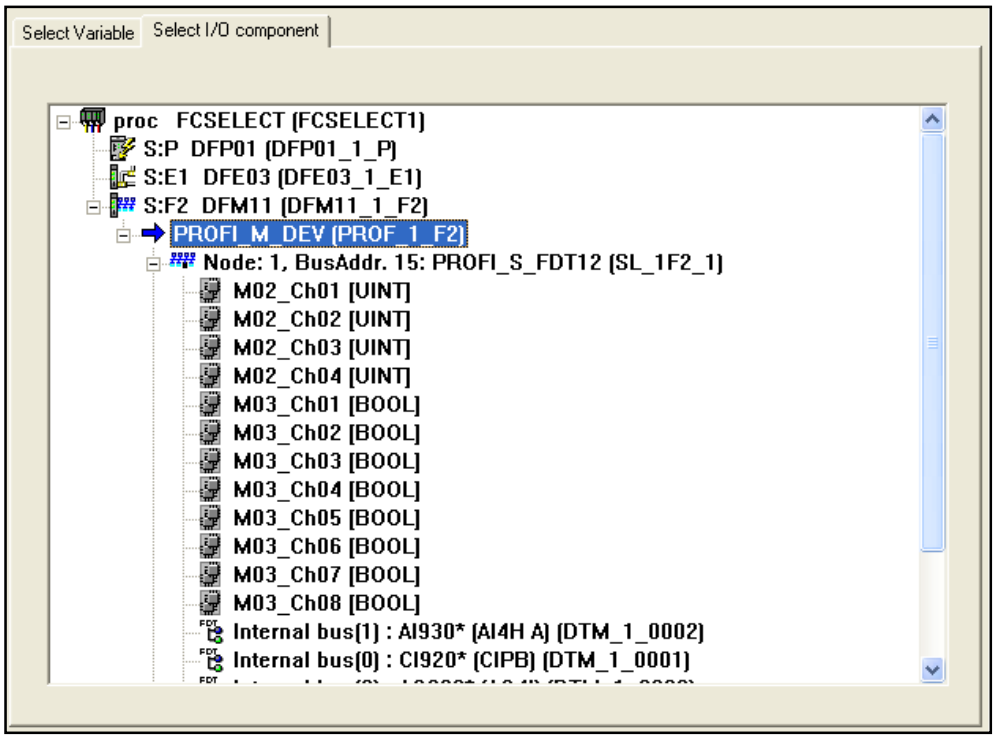
Fonte: Produção do próprio autor.

Na figura 54, pode-se selecionar diretamente de um determinado dispositivo à variável desejada. Para os transmissores Profibus, esta aquisição ocorre de maneira mais simplificada pois os instrumentos podem ser selecionados diretamente da tabela, basta apenas expandir o transmissor desejado e escolher a variável do tipo REAL disponibilizada pelos mesmos (note que de acordo com a configuração de hardware realizada, o nó 3 contém o transmissor de pressão enquanto o nó 2 está associado ao transmissor de temperatura), assim os valores de pressão ou de temperatura são importados automaticamente prontos para uso caso as configurações nos transmissores conforme a seção 3.3 estejam condizentes com o processo.

O transmissor de pressão diferencial 2051 está associado ao canal 1 do cartão de entrada analógica *AI930N* como descrito na seção 2.3.6, portanto, este transmissor por sua vez responde ao cartão citado com um sinal de corrente de 4 a 20 mA proporcional à vazão passante pelo instrumento. Para adquirir o sinal deste dispositivo deve-se expandir o nó referente ao módulo

S900 (nó 1 da rede Profibus) e selecionar a opção correspondente ao canal do cartão em que o instrumento está conectado. Neste caso, como o cartão *AI930N* está no slot 1 do módulo de I/O, para o canal 1, a variável que deve ser escolhida possui o nome M01_Ch01.

Figura 55 – Seleção de variáveis provenientes dos cartões do módulo de I/O S900



Fonte: Produção do próprio autor.

Deve-se ressaltar que variável adquirida por meio do cartão de entrada analógica é do tipo UINT, cuja relação é do tipo 1 para 1000, ou seja, um valor de corrente de 1mA é equivalente ao valor númerico 1000 escrito na variável em questão.

4.3.2.2 Geração de sinais

Os instrumentos utilizados para atuar sobre as variáveis de interesse utilizadas para controlar as malhas descritas anteriormente são: as válvulas de controle e a bomba por meio do inversor. Para gerar os sinais de corrente utilizados para manipular estes dispositivos, deve-se criar blocos para escrita no diagrama e realizar o mesmo procedimento feito com o transmissor de pressão diferencial Rosemount. No entanto, desta vez deve-se escolher os canais referentes ao cartão de saída analógica, aos quais estão ligados os equipamentos. Como o cartão responsável pela geração dos sinais de corrente está no slot 2 do módulo de I/O S900, tem-se que a válvula de

entrada do tanque superior (V1) está conectada no canal 4, a válvula de saída do tanque superior (V2) está conectada ao canal 1 e o inversor está conectado no canal 3, portanto, as variáveis que devem ser selecionadas são M02_Ch04, M02_Ch01 e M02_Ch03, respectivamente. Vale ressaltar que estas, assim como no caso anterior, são do tipo UINT, portanto, para enviar um sinal de corrente de 1mA para uma das válvulas ou para o inversor, deve-se escrever um valor númerico de 1000 na variável em questão.

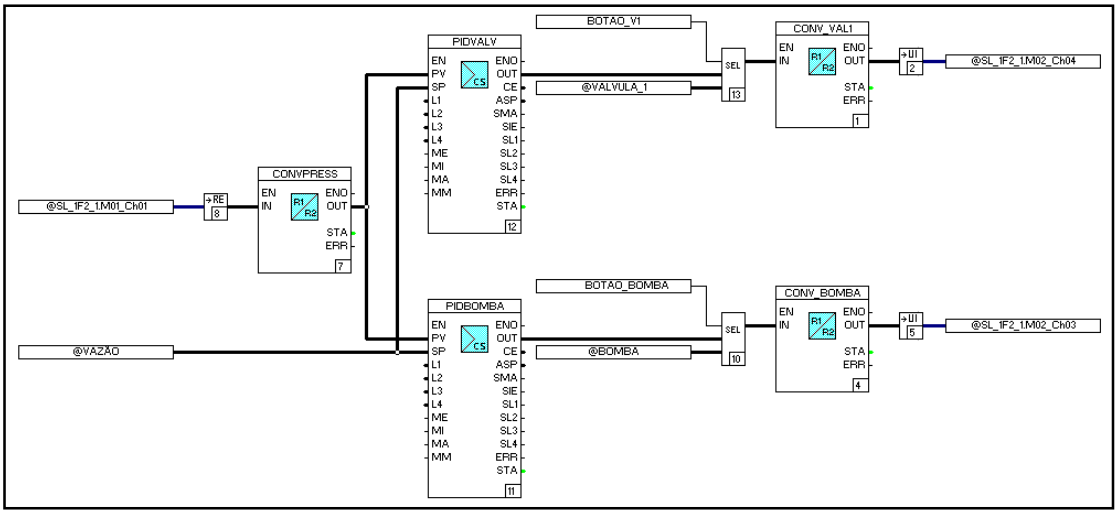
4.3.3 Estratégias de controle

Com a manipulação das duas válvulas de controle existentes na planta, do inversor de freqüência que aciona a bomba e do banco resistivo, torna-se possível a definição de várias malhas para controle, apresentadas posteriormente.

4.3.3.1 Controle de vazão

A malha de controle de vazão da planta piloto deve proporcionar a opção para que a variável em questão possa ser controlada de duas formas diferentes. Primeiramente, mede-se a vazão de entrada no tanque superior através do medidor 2051, e com a válvula (V1) totalmente aberta, atua-se sobre a bomba para que a vazão siga um determinado set point. A outra alternativa consiste em medir a vazão de entrada no tanque superior através do mesmo medidor com a bomba operando em uma condição constante e atua-se sobre a válvula de controle (V1) a fim de controlar a vazão.

Figura 56 – Malha de controle de vazão



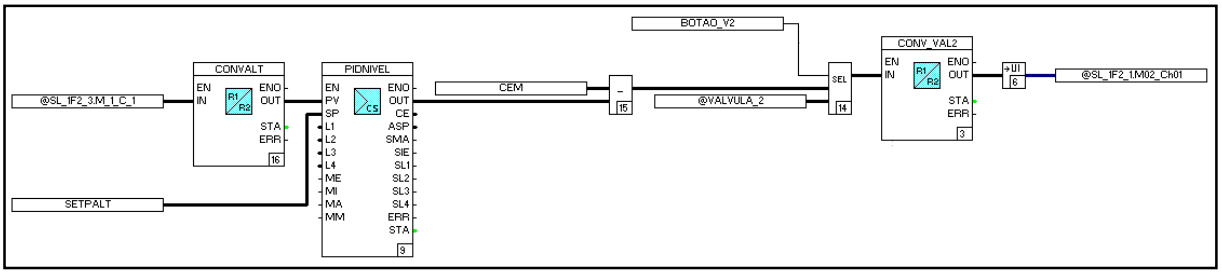
Fonte: Produção do próprio autor.

Apesar de a operação em malha fechada não fazer parte do escopo deste projeto, uma breve introdução foi realizada quanto ao fechamento das mesmas. Na figura 56 está apresentado um esquema básico de malha de controle de vazão cuja variável *SL_1F2_1M01_Ch01* corresponde ao valor em corrente disponibilizado pelo medidor de pressão diferencial 2051. Esta liga-se ao bloco *CONVPRES* responsável por converter o valor de corrente de entrada para um valor de vazão, que por sua vez é conectada aos terminais *PV* dos blocos PID. Um mesmo *setpoint* é conectado aos terminais SP de cada PID, onde um deles é responsável pelo controle da vazão, atuando sobre a válvula V1, e o outro sobre a BOMBA. Deve-se ressaltar a existência de chaves seletoras para escolher se o valor que está sendo enviado para os blocos conversores que atuarão sobre os equipamentos são provenientes do PID ou de um bloco que o operador pode simplesmente modificar o valor caso necessário.

4.3.3.2 Controle de Nível

A malha de controle de nível da planta piloto deve operar da seguinte forma: primeiramente mede-se a altura do líquido no reservatório superior e atua-se sobre a válvula de controle (V2), para que o nível siga o set point desejado.

Figura 57 – Malha de controle de nível



Fonte: Produção do próprio autor.

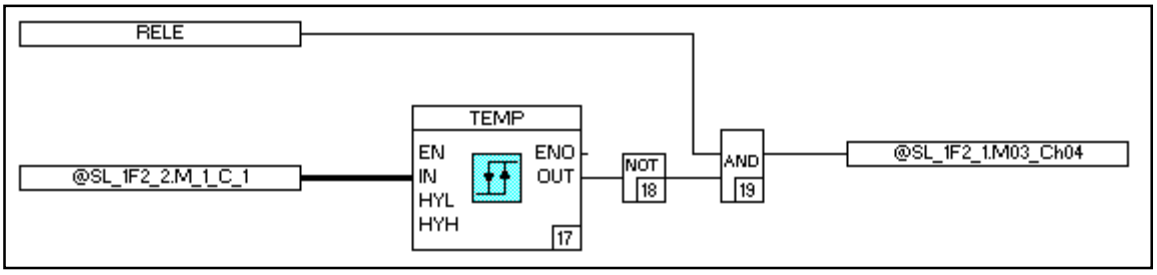
Esta malha de controle tem seu início na variável *SL_1F2_3M_1_C_1* que representa a pressão medida pelo transmissor 2010TD. O valor desta, por sua vez, é convertido no bloco *CONVALT* para o valor correspondente em centímetros e posteriormente conectado ao terminal *PV* do controlador PID, responsável por garantir o nível desejado. Como esta válvula funciona de forma inversa à valvula utilizada para controle de nível, deve-se utilizar um bloco fazendo o ajuste do sinal de saída do PID. Nota-se também o uso de chave seletora para fazer com que o

valor convertido em corrente possa ser escolhido entre o de saída do PID e um valor manual ajustado pelo operador.

4.3.3.3 Controle de temperatura

A malha de controle de temperatura da planta piloto consiste basicamente no funcionamento on/off do resistor de aquecimento citado anteriormente. Num primeiro momento, mede-se a temperatura e atua-se sobre o resistor de forma a manter a temperatura sempre em um determinado intervalo de valores, portanto, são estabelecidos dois limites para temperatura, um limite superior e um limite inferior. Caso a temperatura esteja abaixo do limite superior o resistor é acionado e a temperatura vai sendo elevada até o momento em que o limite é ultrapassado, neste momento o resistor é desligado e a temperatura pode decrescer rapidamente ou lentamente de acordo com o tipo de teste vigente no momento até o limite inferior, onde então o resistor é ligado novamente.

Figura 58 – Malha de controle de temperatura



Fonte: Produção do próprio autor

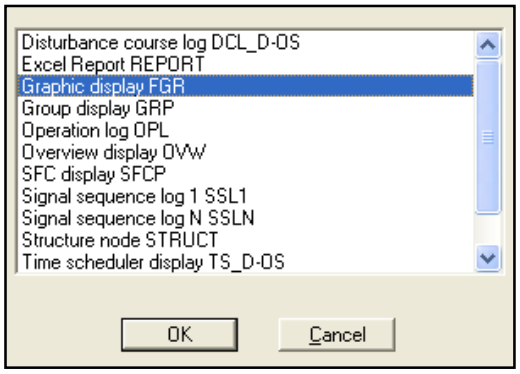
A variável *SL_1F2_2.M_1_C_1* é adquirida através do transmissor de temperatura TF12-Ex e enviada à uma composição de blocos *TEMP* e *NOT*, de forma que esta possa garantir a reprodução do comportamento para esta malha citado anteriormente. Além disso, um bloco *AND* é utilizado para que o resistor somente seja acionado caso a temperatura esteja abaixo da estipulada e de acordo com a necessidade do operador.

5 SISTEMA DE SUPERVISÃO

5.1 Criando uma Visualização

Para criar um sistema supervisório no Control Builder F, é necessário voltar à árvore do projeto e inserir um próximo nível na estação de supervisão (*Operator Station)* e selecionar a opção *Graphic Display*.

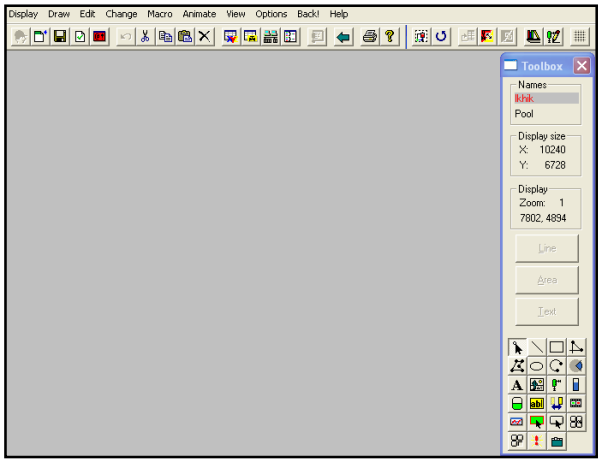
Figura 59 – Criação do ambiente de desenvolvimento do supervisório



Fonte: Produção do próprio autor

Acessando o novo nível criado é possível acessar o ambiente de desenvolvimento do sistema supervisório conforme a figura 60. Neste é possível implementar uma variedade de elementos gráficos para representação do processo, como por exemplo, barras gráficas dinâmicas, displays , alarmes, sinalizações, entre outros.

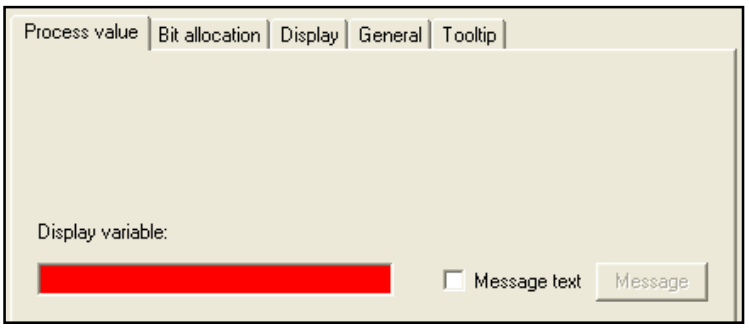
Figura 60 – Ambiente de desenvolvimento do supervisório



Fonte: Produção do próprio autor.

A criação do sistema supervisório da planta piloto foi inteiramente desenvolvido a partir da adição de Bitmaps. Pode-se realizar esta ação através do acesso ao menu *Draw*, selecionando a opção *Bitmap*, e clicando posteriormente no local desejado para a inserção da imagem. Uma nova janela se abrirá, bastando apenas importar a imagem em questão. Foram utilizados também vários displays para disponibilizar para o operador as informações desejadas, para realizar esta ação seleciona-se o display alfanumérico na caixa de ferramentas e posteriormente clica-se no local desejado para inserção do mesmo. Neste momento, aperta-se F2 no campo *Display variable* para determinar qual variável será mostrada.

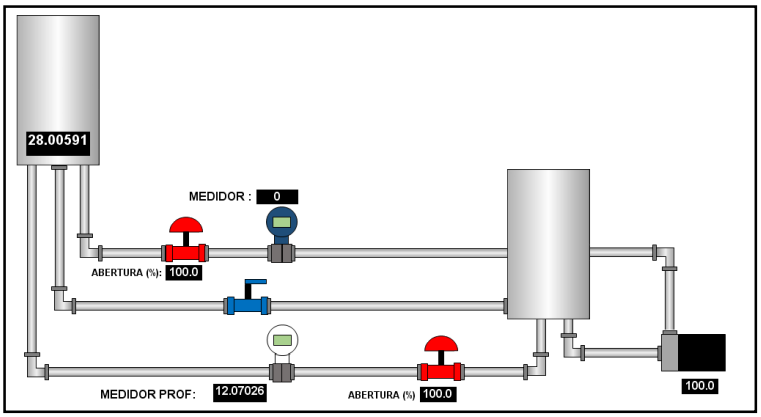
Figura 61 – Seleção de uma variável para ser mostrada em um display no supervisório



Fonte: Produção do próprio autor.

Na figura 62 está contido o sistema supervisório desenvolvido para o controle da planta piloto, Neste, todos os dados são disponibilizados em a cada instante para serem observados e também para serem modificados bastando clicar nos displays apropriados para a manipulação das variáveis passíveis de modificação.

Figura 62 – Sistema de supervisão utilizado para monitoramento e operação da planta piloto



Fonte: Produção do próprio autor.

6 AQUISIÇÃO DE DADOS

6.1 OPC

O software utilizado para a configuração do controlador e implementação de suas lógicas de controle, Control Bulder F, não apresenta mecânismos de armazenamento de histórico das variáveis utilizadas no processo, portanto para resolver tal impasse, foi utilizado o servidor OPC. Este consiste em uma interface padronizada de comunicação criada como tentativa de minimizar os problemas relacionados à inconsistência entre os equipamentos industriais de diferentes fabricantes. A "OPC Foundation" é a organização responsável pelas normas que estabelecem as características disponíveis aos clientes dos equipamentos que possuem o padrão OPC.

Os elementos que compõe o padrão OPC se classificam em duas categorias: Clientes OPC e Servidores OPC. O cliente OPC é basicamente um usuário dos dados enquanto o Servidor OPC assume o papel de uma fonte de dados que coleta ou gera estes a partir de um processo, disponibilizando-os aos Clientes OPC.

Para armazenar as variáveis provenientes da planta piloto e manipula-las, utilizou-se o OPC Toolbox existente no MATLAB para criar um cliente OPC e desta forma garantir o acesso aos dados presentes no servidor OPC configurado no controlador.

6.2 Configuração do controlador para disponibilização de dados

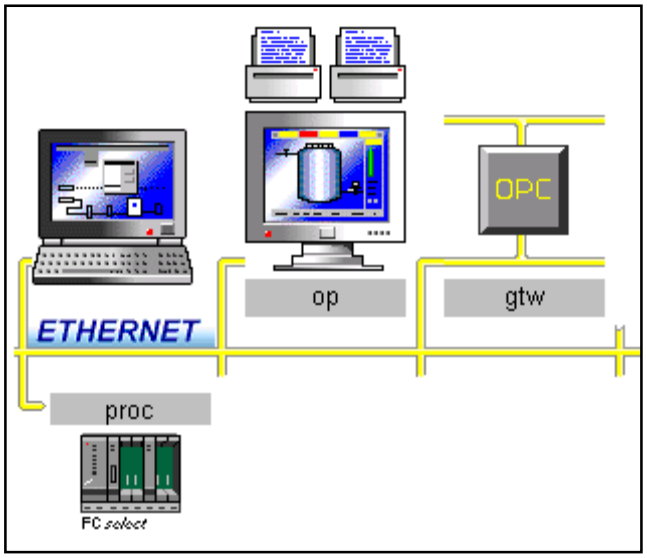
Para que o controlador esteja apto à disponibilizar os dados do processo para aquisição, deve-se criar um servidor OPC na estrutura do programa que está gerenciando o funcionamento da planta piloto no momento. Deve-se primeiramente acrescentar à estrutura da árvore do projeto um "Gateway". Para realizar esta operação, basta inserir um próximo nível no nó de configuração, e escolher a opção "Gateway Station". Com um duplo clique, abre-se a janela de configuração referente a este nível, onde deve-se selecionar o tipo de gateway que será utilizado, neste projeto foi selecionada a opção *OPC-Gateway*, conforme a figura 63.

Figura 63 – Seleção do tipo de *gateway* desejado (OPC)

Fonte: Produção do próprio autor.

Posteriormente, o *gateway* escolhido deve ser adicionado na estrutura de hardware definida no programa, assim como os outros elementos já inseridos anteriormente, portanto, deve-se acessar o menu *Hardware structure* e inserir o *gateway* na rede existente. No momento em que este é adicionado a rede, o mesmo está dotado de um rótulo padrão, de forma que para que esteja configurado adequadamente como um servidor OPC, deve-se clicar com o botão direito sobre o mesmo e selecionar a opção *Resource allocation* e finalmente escolher o *Gateway Station* adicionado préviamente à arvore do projeto. A estrutura de *hardware* será a apresentada na figura 64.

Figura 64 – Inclusão do servidor OPC na estrutura de hardware



Fonte: Produção do próprio autor

O passo seguinte na configuração do servidor OPC consiste em acionar o menu *Network configuration* para definir uma identificação (ID) para o *gateway* bem como editar o IP correspondente ao mesmo para que seja igual aos IP's do computador que se está utilizando e da estação de supervisão de acordo com a figura 65.

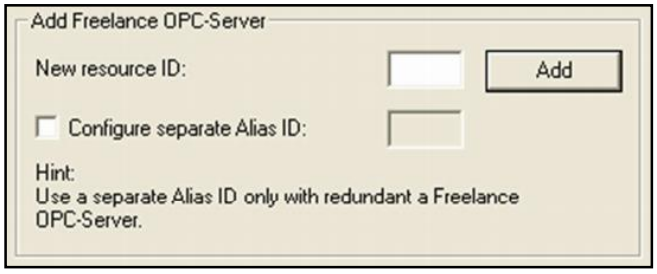
Figura 65 - Configuração da rede com o servidor OPC

Type	Name	Res. type	Res. name	Res. ID	IP address 1	IP address 2
Engin. PC	CBF	D-ES		21	172.16.1.16	
GWY	GWY2	D-GS	gtw	100	172.16.1.16	
VIS	VIS1	D-OS	op	22	172.16.1.16	
FCSELECT	FCSELECT1	D-PS	proc	1	172.16.1.15	

Fonte: Produção do próprio autor

Para finalizar a etapa de configuração do servidor OPC é necessário ir ao painel de configurações do Control Builder F para inserir o servidor criado, portanto quando dentro do painel citado deve-se procurar a opção *Freelance OPC-Server Options* e adicionar o elemento desejado através do ID que este possui conforme a figura 65. Sendo assim, a ultíma janela existente na configuração é mostrada na figura 66.

Figura 66 – Etapa final na criação do servidor OPC

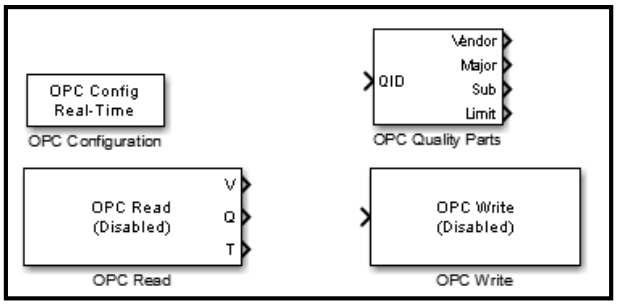


Fonte: Produção do próprio autor.

6.3 Configuração do MATLAB® para realizar a aquisição de dados

A utilização do OPC toolbox deve ser feita por meio da criação de um modelo no simulink e escolha dos blocos adequados para a aquisição dos dados, estes são: *OPC Configuration* e *OPC Read*.

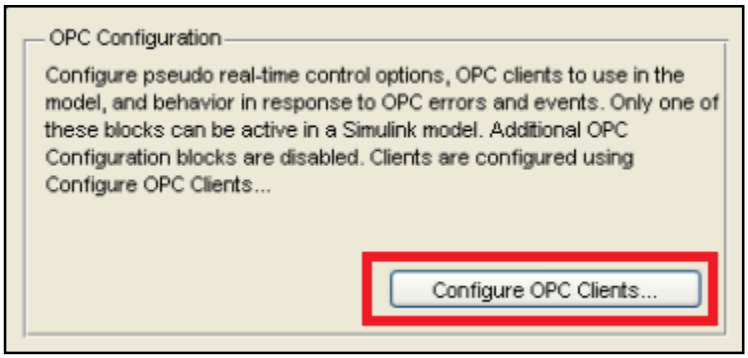
Figura 67 – Blocos existentes no OPC toolbox



Fonte: Produção do próprio autor.

O bloco *OPC Configuration* é responsável pela configuração de vários parâmetros além da identificação de qual servidor OPC deseja-se realizar a aquisição dos dados. Para configura-lo, basta dar um duplo clique sobre o mesmo e uma janela será aberta contendo a parte apresentada na figura 68.

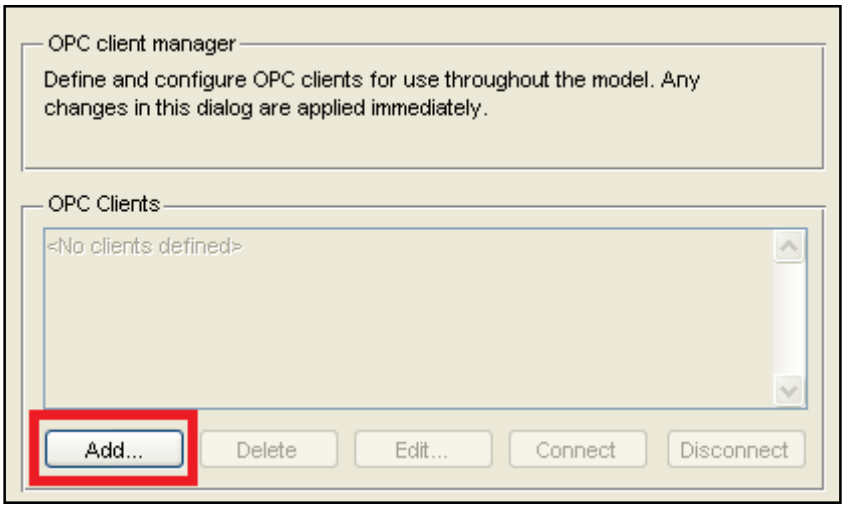
Figura 68 – Parte da janela referente ao bloco OPC Configuration



Fonte: Produção do próprio autor.

Ao clicar no botão destacado na figura apresentada anteriormente, abre-se uma outra janela na qual pode-se escolher os servidores OPC aos quais se deseja conectar para fazer o manuseio dos dados, tanto aquisicão quanto escrita, sendo assim para realizar a escolha basta clicar no botão *Add* apresentado na figura 69 para selecionar o desejado.

Figura 69 – Lista de servidores OPC utilizados

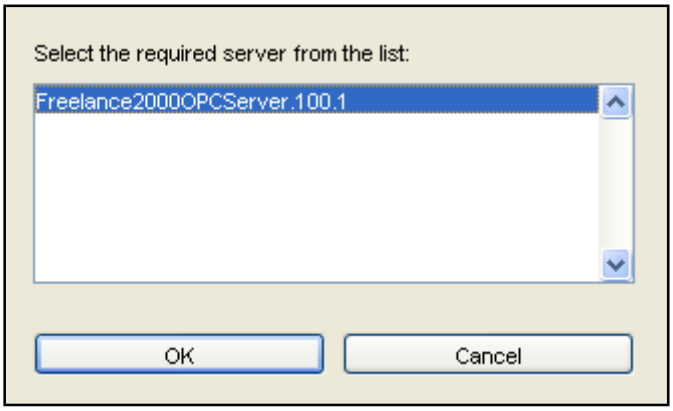


Fonte: Produção do próprio autor

Posteriormente, abre-se uma janela e clica-se em *Select*, para realizar a escolha do servidor OPC. No caso da planta piloto em questão, utiliza-se o servidor OPC criado no próprio

controlador utilizado para o controle da mesma, escolhendo, portanto, o servidor *Freelance2000OPCServer.100.1*.

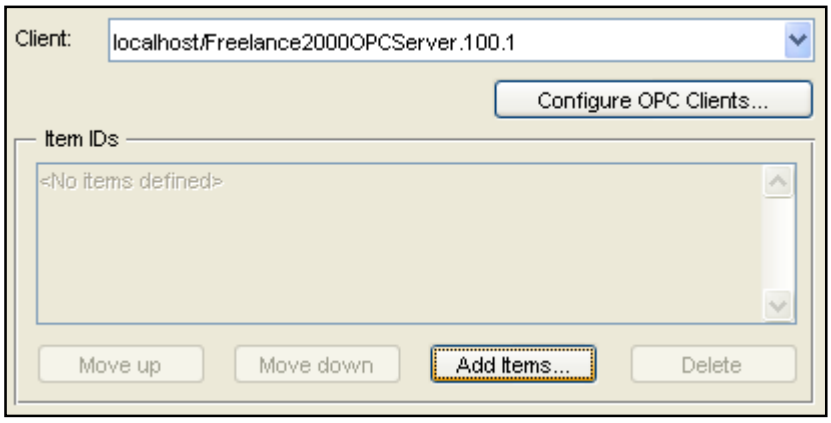
Figura 70 – Escolha do servidor OPC do controlador Freelance 2000 Select



Fonte: Produção do próprio autor.

O bloco *OPC Read* é responsável pela leitura de uma variável do servidor OPC que se deseja armazenar. Deve-se ressaltar que o número de blocos de leitura deve ser igual ao número de variáveis que se quer obter, pois um único bloco *OPC read* realiza a aquisição de somente uma variável, desta forma usa-se vários blocos conforme a aplicação necessitar. Clicando-se no bloco *OPC Read* abre-se uma janela contendo a região determinada pela figura 71, onde determina-se a variável lida pressionando o botão *Add Items*.

Figura 71 – Janela referente ao bloco *OPC Read*

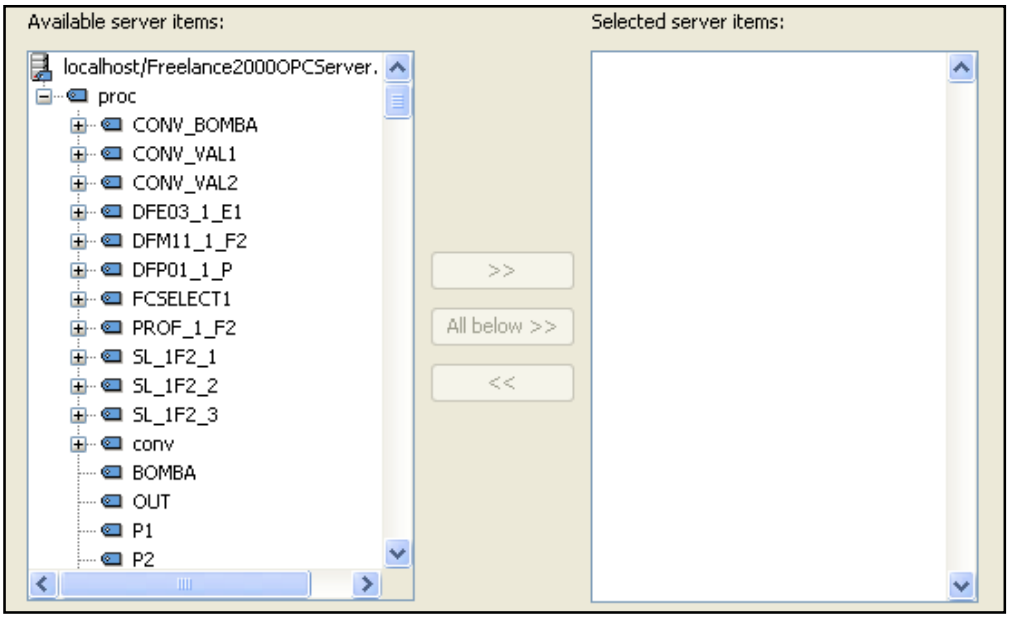


Fonte: Produção do próprio autor

Ao executar a função para escolher a variável cujo acesso aos dados é desejado por meio do botão descrito anteriormente, abre-se a janela mostrada na figura 72 à seguir, que por sua vez

contém em seu lado esquerdo todas as variáveis contidas no programa pelo qual está sendo executado o servidor OPC. Nesta lista existem não só as variáveis criadas como também as entradas e saídas disponibilizadas através dos respectivos cartões bem como dos dispositivos que utilizam a rede Profibus conforme a figura 72.

Figura 72 – Variáveis do programa disponíveis para aquisição



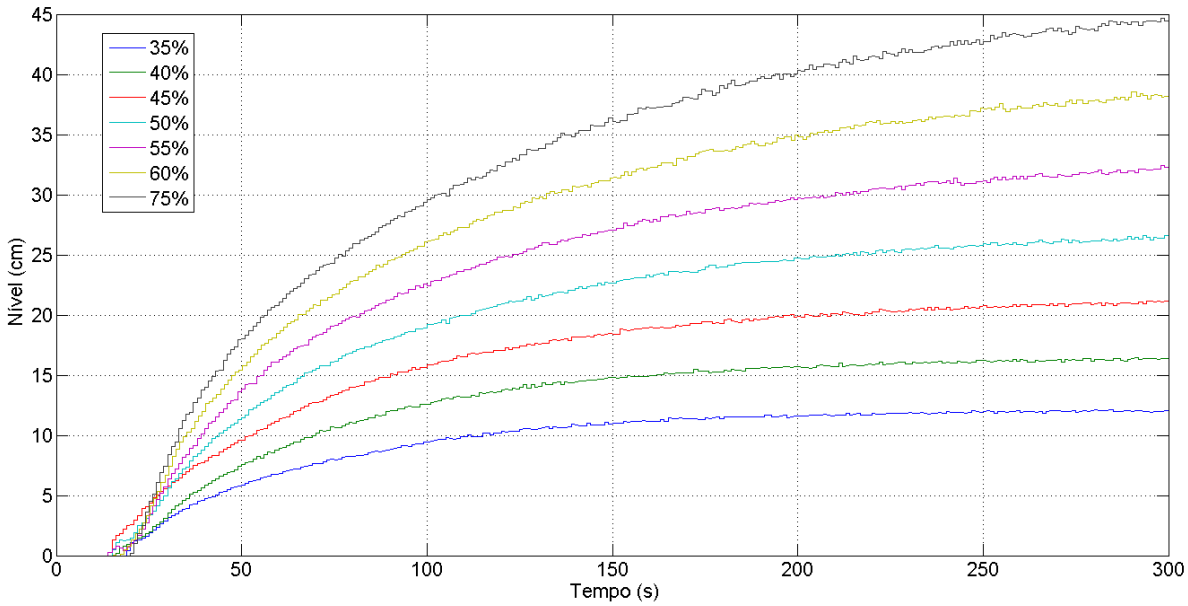
Fonte: Produção do próprio autor.

7 TESTES REALIZADOS

Para disponibilizar os dados referentes ao funcionamento da planta piloto foram realizados diversos testes para levantar informações que visam traduzir o comportamento da planta proporcionando a produção de modelos posteriores.

O primeiro dos testes realizados consiste em levantar informações à respeito do comportamento do nível de fluido no reservatório superior que é atingido no ponto de equilíbio quando submetido a uma determinada vazão de entrada por meio de vários degraus aplicados à bomba. O ponto de equilíbrio citado ocorre quando para uma dada vazão de entrada atinge-se um certo nível, no qual a vazão de saída se iguala aquela que entra no tanque em questão. Para este teste, as duas válvulas de controle estavam totalmente abertas e os resultados estão disponíveis no gráfico 1.

Gráfico 1 – Resposta do nível no reservatório superior de acordo com degraus na bomba

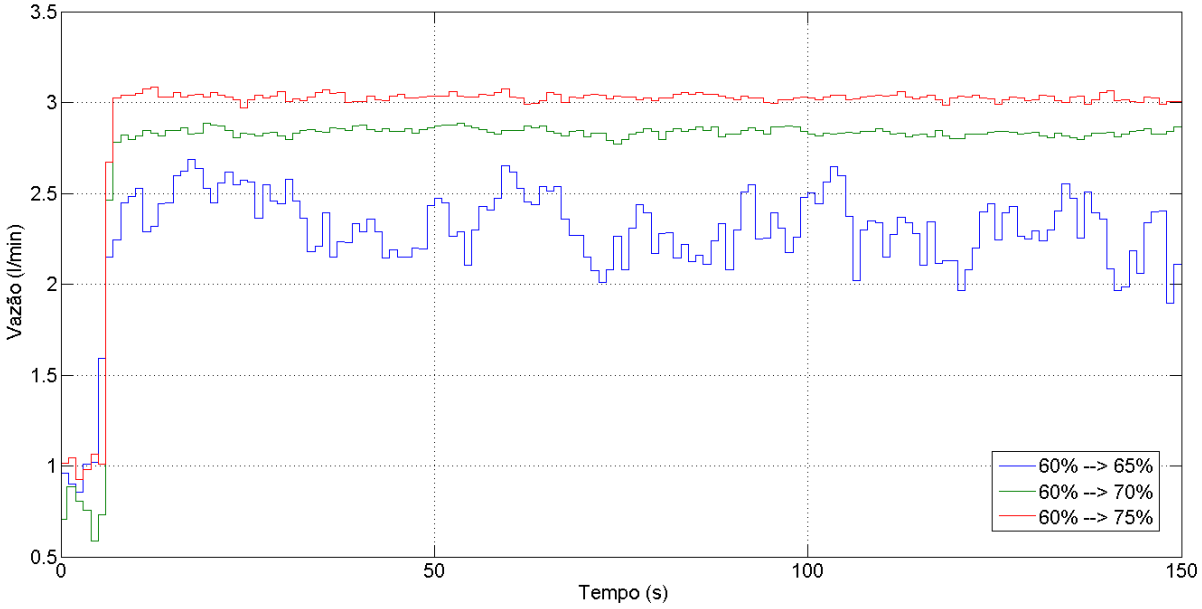


Fonte: Produção do próprio autor.

Percebe-se através destes resultados que para vazões menores, o ponto de equilíbrio é atingido mais rapidamente, porém deve-se ressaltar que o nível atingido é proporcional a vazão de entrada do reservatório superior, para vazões de entrada menores, os níveis atingidos no equilíbrio também são menores.

O segundo teste realizado visa mapear o comportamento da vazão quando aplicados vários degraus à bomba a partir de um dado ponto de operação. Neste experimento as duas válvulas estavam totalmente abertas e o sistema estava operando num ponto de equilíbrio com a bomba operando em 60% de sua capacidade.

Gráfico 2 – Curvas de resposta da vazão para degraus aplicados na bomba

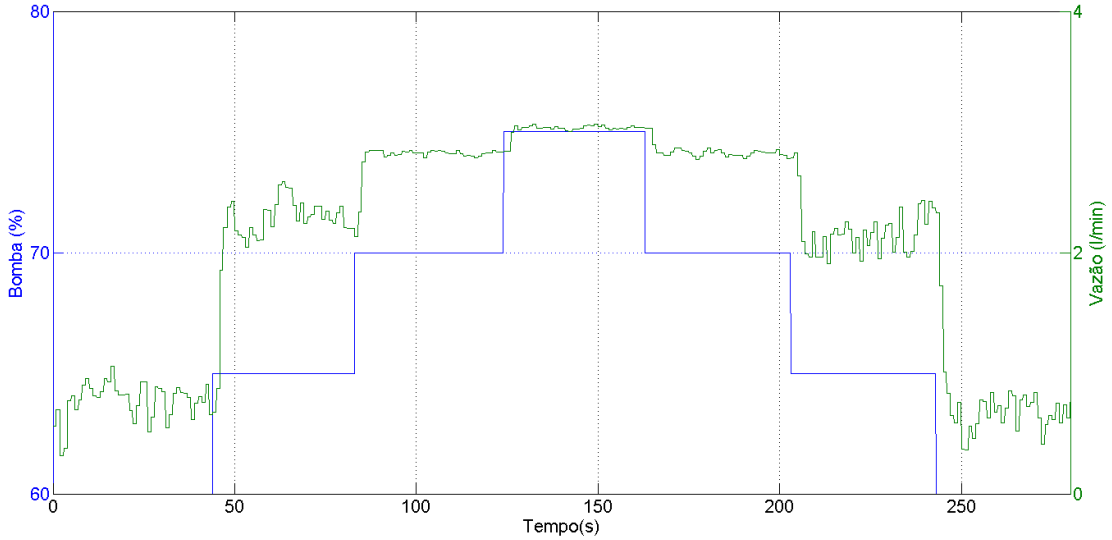


Fonte: Produção do próprio autor

Conforme o gráfico 2, pode-se perceber que para valores mais elevados de vazão, a variabilidade dos dados obtidos é bem menor em relação aos de baixa vazão, provavelmente este fato pode estar ligado ao instrumento utilizado para fazer a medição desta grandeza, o qual para determinados valores de vazão pode não oferecer a exatidão necessária.

O gráfico 3 contém uma sucessão de degraus na bomba sobre o ponto de operação citado anteriormente. Deve-se ressaltar que esta também mostra a inconsistencia da medição para valores baixos de vazão. Entretanto pode-se perceber neste que os tempos de subida são aproximadamente constantes para os pontos de operação mapeados, assim como os de descida.

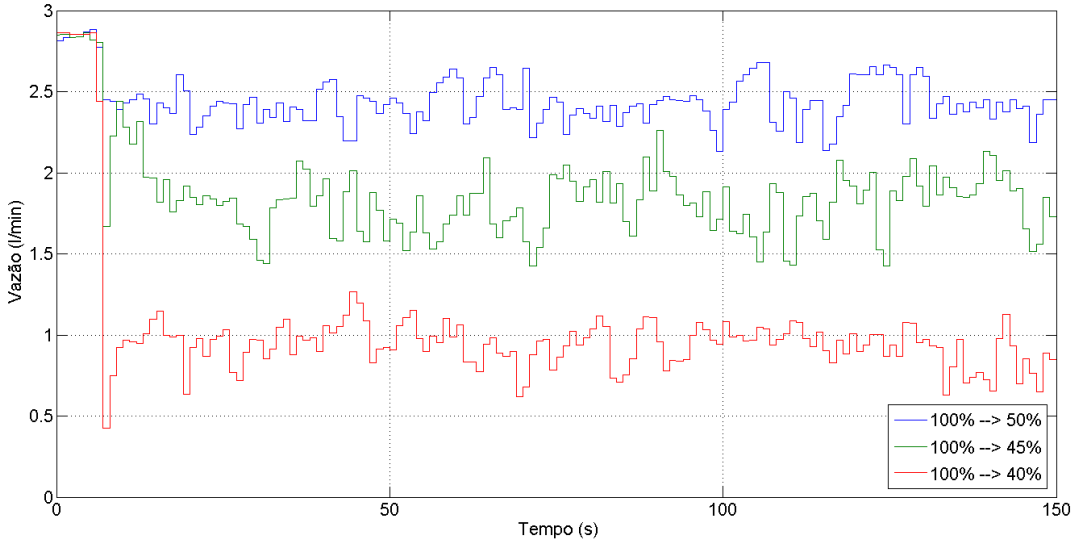
Gráfico 3 – Curva de reação da vazão devido à aplicação de sucessivos degraus na bomba



Fonte: Produção do próprio autor.

O terceiro teste realizado visa mapear o comportamento da vazão assim como o realizado anteriormente. No entanto, para este, manteve-se a bomba operando em uma determinada capacidade, cerca de 70% enquanto foram aplicados vários degraus na válvula de entrada do reservatório superior (V1). Neste experimento a válvula de controle (V2) se encontrava totalmente aberta.

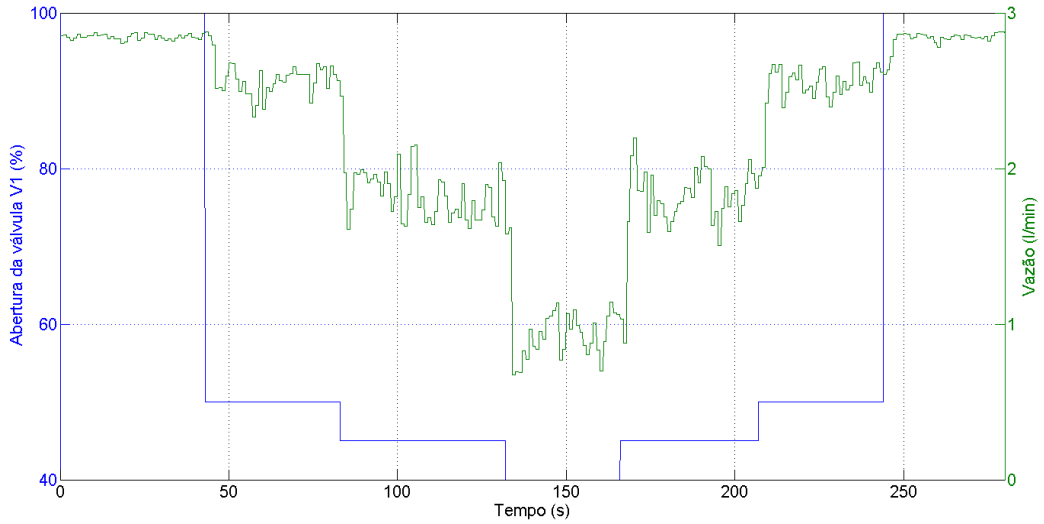
Gráfico 4 - Curvas de reação da vazão devido à abertura da válvula V1



Fonte: Produção do próprio autor.

Para este teste a válvula V1 está inicialmente com 100% de abertura e posteriormente aplica-se os degraus adequados. O primeiro degrau corresponde ao fechamento da válvula para uma abertura de 50% , para manter a abertura da válvula em 45% e 40%. Nos gráficos 4 e 5 pode-se observar que para uma abertura de 50%, a vazão diminuiu muito pouco em relação ao inicial, no entanto, para aberturas de 45% e 40% pode-se perceber que a diminuição da vazão é bastante significativa.

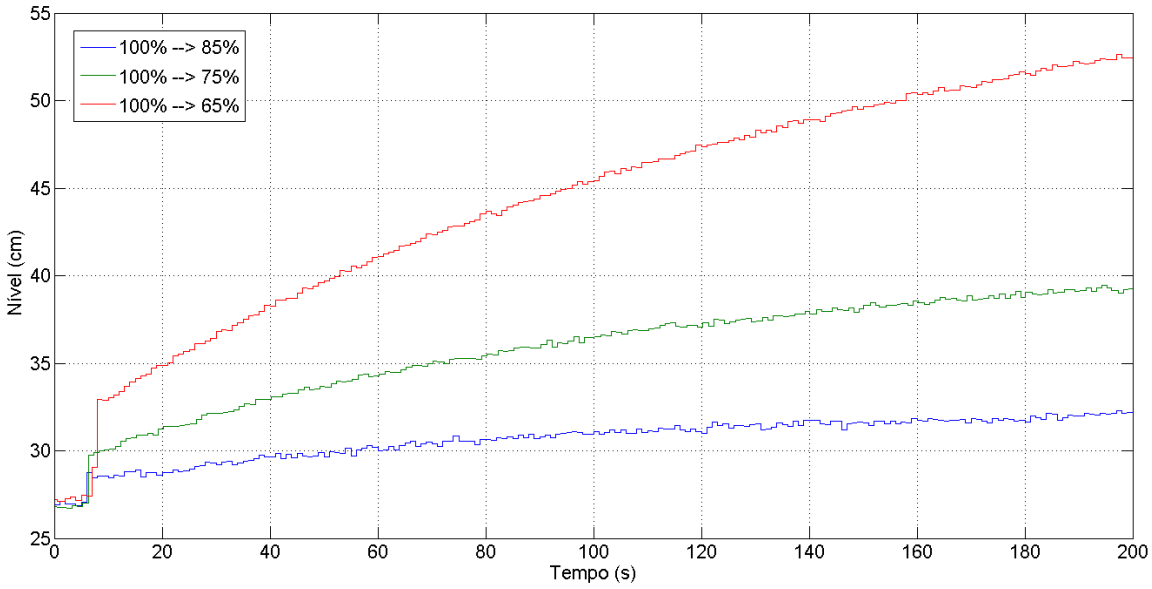
Gráfico 5 - Curva de reação da vazão devido à aplicação de sucessivos degraus na válvula V1



Fonte: Produção do próprio autor.

O quarto teste realizado consiste em obervar o nível do resertvatório superior e atuar sobre a válvula de saída do reservatório superior (V2), utilizando vários degraus em seu acionamento. Neste teste, pode-se constatar que conforme a abertura da válvula diminui, o nível passa a aumentar no tanque em questão como previsto já que o fluxo foi obstruido.

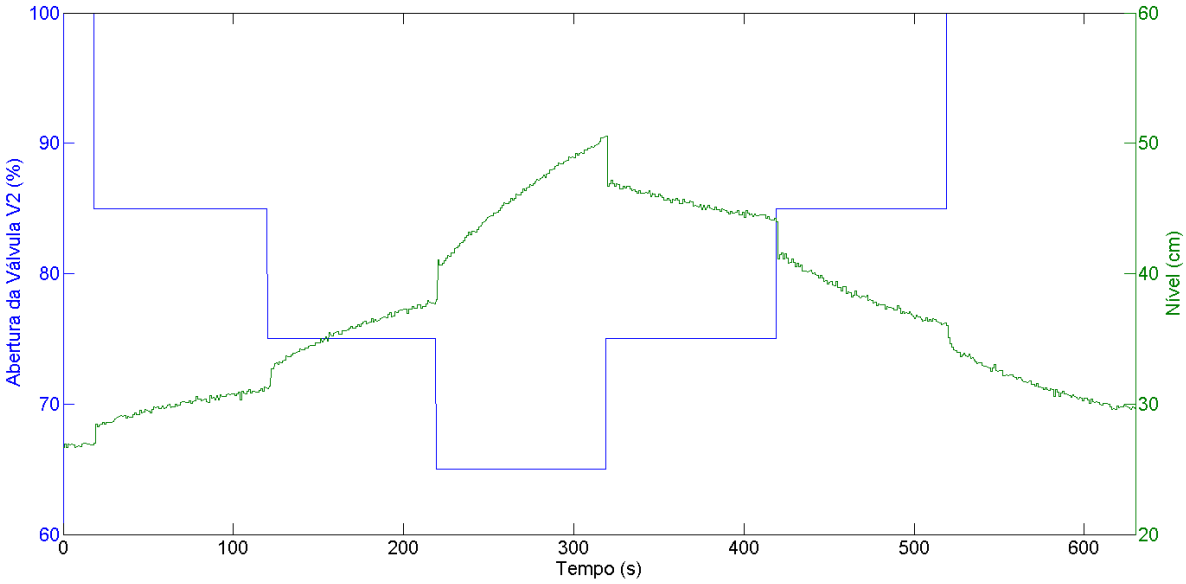
Gráfico 6 - Curvas de reação do nível devido à degraus aplicados na válvula V2



Fonte: Produção do próprio autor

O gráfico 7, a seguir mostra o efeito resultante no nível quando feitas sucessivas variações da abertura da válvula de controle V2. Para levantar a curva, foi necessário partir de um ponto de operação e assim partindo da válvula 100% aberta segue-se até 65% aberta (passando por 85% e 75%).

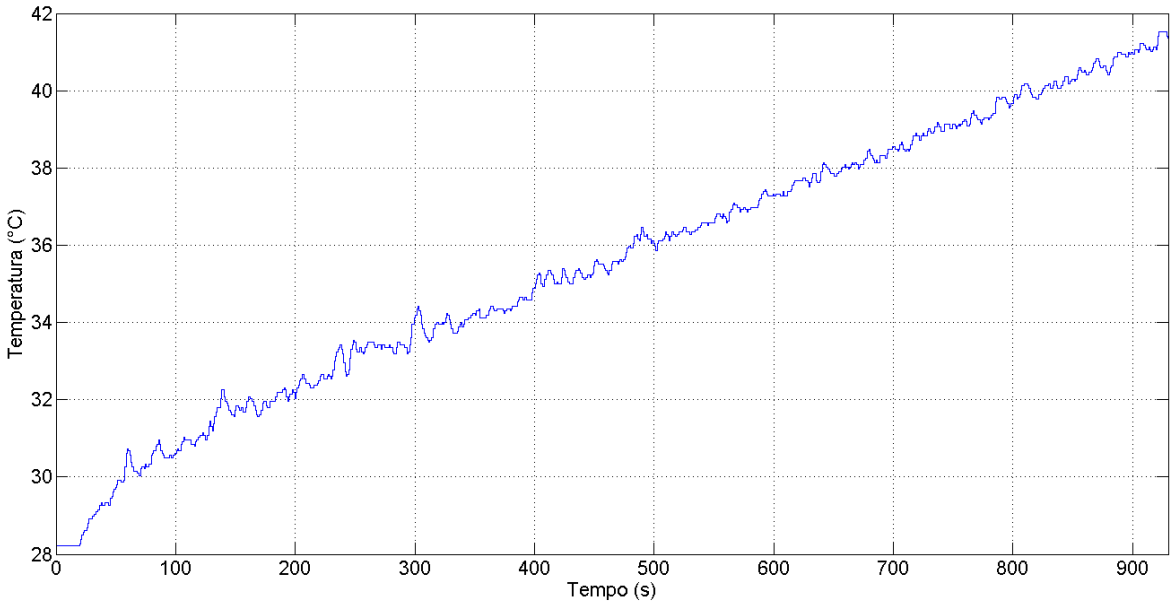
Gráfico 7 - Curva de reação do nível devido à aplicação de sucessivos degraus na válvula V2



Fonte: Produção do próprio autor.

O último teste realizado para propor uma tentativa de mapear o comportamento da planta piloto foi feito colocando o sistema em um ponto de operação com a bomba funcionando com 45% da sua capacidade e o nível estável em cerca de 20 cm, assim foi acionado o resistor para visualizar o comportamento da planta em virtude do aumento da temperatura. Deve-se ressaltar que este teste não pode ser realizado a todo momento em virtude da temperatura da água depois de um determinado tempo ficar bastante elevada e o funcionamento da malha de temperatura ficar comprometido. O gráfico 8 denota o comportamento citado anteriormente.

Gráfico 8 – Variação da temperatura para o sistema em um determinado ponto de operação



Fonte: Produção do próprio autor.

8 CONCLUSÕES

Neste projeto foi apresentada a planta piloto existente para relização de estudos e experimentos por parte dos cursos de graduação e pós graduação do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Espírito Santo.

Primeiramente foram definidos todos os elementos presentes na planta piloto, tanto estruturais como os instrumentos existentes para o controle e medição das variáveis do processo. Além disso demonstrou-se como foram realizadas as conexões físicas dos instrumentos com o controlador utilizado para gerenciamento do processo.

Posteriormente, apresentou-se as características do ambiente de programação proporcionado pelo *software* Control Builder F, utilizado no desenvolvimento deste projeto. Foram mostrados os aspectos mais importantes na elaboração de um projeto nesse ambiente, como criação da árvore do projeto, configuração de *hardware*, e visualização.

Neste trabalho foram apresentados projetos básicos de malhas de controle para vazão, nível e temperatura, porém não sendo o foco deste, portanto, a função do capítulo relacionado às malhas de controle é propor uma forma de começar a implementação das mesmas a partir de um patamar já estabelecido.

No intuito de realizar a aquisição dos dados relativos às variáveis de processo, foi definido um mecanismo de obtenção dos mesmos por meio do uso de um servidor OPC proporcionado pelo controlador juntamente com o MATLAB para registro dos dados e posteriormente manipulação dos mesmos.

Finalmente foram demonstrados alguns testes feitos no intuito de estabelecer uma primeira base de dados necessária para estudos posteriores e realização de experimentos por parte dos estudantes de engenharia elétrica.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Vantil, S. P. **Desenvolvimento de um projeto de automação na norma IEC 61131-3 usando o ambiente CONTROL BUILDER F**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.

DE Souza, T. A. **Desenvolvimento de um projeto de controle para uma planta piloto de regenerador de auto-forno utilizando o ambiente control builder**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

Moraes, D. C. **Análise do tempo de atuação em redes digitais de controle profibus dp e pa**. 2005. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

ABB. **ABB Automation Products | Multi Barrier NMB204/NMB204-EX Data Sheet/Catalog**.2003.Disponível em: < http://www.abb.com/controlsystems>. Acesso em: 27 nov. 2014.

ABB. **ABB Automation Products | Head mounted Temperature Transmitter TF12/TF12-Ex.** 2005**.** Disponível em: <http://www.abb.com/controlsystems>. Acesso em: 27 nov. 2014.

ABB. **ABB Automation Products | S900 Remote I/O System Data Sheet/Catalog**. Disponível em: < http://www.abb.com/controlsystems>. a. Acesso em: 27 nov. 2014.

ABB. **ABB Automation Products | 2010TD for Differential Pressure, Flow Rate and Level 2010TA for Absolute Pressure.**2001. Disponível em: <http://www.abb.com/controlsystems>. Acesso em: 27 nov. 2014.

ABB. **ABB Automation Products | Device Type Manager DTM for TF12, TF212.** Disponível em: <http://www.abb.com/controlsystems>.d. Acesso em: 27 nov. 2014.

Pepperl+Fuchs. **Instruction Manual | Segment Coupler SK1 and SK2.** 2002

Emerson. **Emerson Industrial Automation | Guia rápido Commander SK.** 2013

Margon, G. M; Filgueiras, M. S. **Especificação de planta piloto para estudo e pesquisas em modelagem e projeto de controladores**. Artigo científico (Curso de Especialização em

Instrumentação e Controle de Processos Industriais) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.