

Mônica Aparecida Dias

**AUTOMAÇÃO DE UMA UNIDADE DE EXPERIMENTAÇÃO  
DE ESCOAMENTO MULTIFÁSICO UTILIZANDO  
TECNOLOGIA FOUNDATION FIELDBUS.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Automação e Sistemas.  
Orientador: Prof. Dr. Daniel Juan Pagano.

Florianópolis  
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Dias, Mônica Aparecida  
Automação de uma Unidade de Experimentação de Escoamento  
Multifásico utilizando tecnologia Foundation Fieldbus /  
Mônica Aparecida Dias ; orientador, Dr. Daniel Juan Pagano  
Florianópolis, SC, 2015.  
179 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Automação e Sistemas.

Inclui referências

1. Engenharia de Automação e Sistemas. 2. Automação  
Industrial. 3. Redes Industriais. 4. Escoamento  
Mutifásico. 5. Petróleo. I. Pagano, Dr. Daniel Juan. II.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós  
Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas. III. Título.

Mônica Aparecida Dias

**AUTOMAÇÃO DE UMA UNIDADE DE EXPERIMENTAÇÃO  
DE ESCOAMENTO MULTIFÁSICO UTILIZANDO  
TECNOLOGIA FOUNDATION FIELDBUS.**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Automação e Sistemas, Área de Concentração em *Controle, Automação e Sistemas* e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 26 de Novembro de 2015.

---

Prof. Dr. Rômulo S. de Oliveira  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Daniel Juan Pagano, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Eraldo Silveira e Silva, Dr.  
Instituto Federal de Santa Catarina

---

Marcelo Stemmer, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Agustinho Plucenio, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho a todos que se interessam pela área de Automação Industrial.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Daniel Juan Pagano, pela a oportunidade dada e confiança referente ao presente trabalho, além da indiscutível ajuda e compreensão em todos os momentos.

Agradeço ao Prof. Dr. Julio Nomey e ao Programa de Formação de Engenheiros nas áreas de Automação, Controle e Instrumentação para o Setor de Petróleo e Gás Natural PRH 34, na qual fui participante e que viabilizou financeiramente a conclusão do projeto de mestrado.

Agradeço à Instrumatic pela boa vontade em agilizar a entrega dos equipamentos adquiridos e à Smar Equipamentos Industriais Ltda., em especial ao Fábio Maia pela disposição em ajudar nas dificuldades e dúvidas que surgiram ao longo da execução do projeto.

Um enorme agradecimento ao César Cassiolato por todo apoio e disponibilidade em ajudar sempre.

Agradeço em especial à minha família e meu marido Deivid por todo apoio, amor e carinho recebido em todos os momentos.

Agradeço também meus colegas de mestrado da UFSC, em especial ao Francisco R. Mota. Ademais agradeço de coração a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste sonho!

O meu Muito Obrigada!

Tudo o que está no plano da realidade já foi  
sonho um dia.

(Leonardo da Vinci)

## RESUMO

O Laboratório Experimental de Escoamento Multifásico (LEEM) do Departamento de Automação e Sistemas tem por objetivos: (i) o estudo dos escoamentos multifásicos aplicados à indústria do petróleo; (ii) o desenvolvimento de medidores de vazão multifásicos para a indústria do petróleo; (iii) o desenvolvimento de novas técnicas de controle de escoamentos multifásicos (supressão de golfadas, estabilização de regimes de escoamento, etc.); (iv) o desenvolvimento de novas técnicas de separação em linha de fluidos multifásicos. O LEEM conta com uma Unidade de Experimentação de Escoamentos Multifásicos (UEEM) e com uma sala de medição para testes de protótipos de medição e controle.

A UEEM permite basicamente misturar vazões controladas de água, óleo inerte e ar comprimido previamente medidas com precisão. O fluido misturado é conduzido para uma área de ensaios onde podem ser testados diferentes protótipos, assim como medidores comerciais, de vazão monofásica, bifásica ou multifásica. A mistura multifásica passa pela área de testes e retorna ao separador que opera a pressão atmosférica. A planta conta com um sistema de aquisição de dados que permite adquirir dados dos instrumentos de medida de cada fração bem como aqueles do sensor sendo investigado. O objetivo principal deste trabalho consiste na automação da operação de uma unidade de experimentação de laboratório (UEEM). Em particular, (i) desenvolver sistemas de controle via rede; (ii) de instrumentação e de segurança; (iii) de automação da operação de ensaios e testes desta unidade.

Para a automação da unidade aplicou-se a tecnologia de redes FOUNDATION *Fieldbus* (FF), uma rede interoperável com controle distribuído em campo e manutenção simples. Este trabalho mostra na prática e de forma detalhada a execução de todas as camadas da pirâmide da tecnologia FOUNDATION *Fieldbus*, enfatizando as suas funcionalidades, vantagens e desvantagens.

**Palavras-chave:** Automação industrial. Foundation *Fieldbus*. Escoamento multifásico. Laboratório de escoamento multifásico. Petróleo.

## ABSTRACT

The Experimental Laboratory of Multiphase Flow (LEEM) of the Department of Automation and Systems aims to: (i) the study of multiphase flow applied to the petroleum industry; (ii) the development of multiphase flow meters for the oil industry; (iii) development of new multiphase flow control techniques (slugs, stabilizing flow regimes, etc.); (iv) the development of new techniques for separation of multiphase fluid line. The LEEM has an Experimentation Unit of Multiphase Flows (UEEM) and a measuring room for measurement and control prototype testing.

The UEEM basically allows controlled mixing of water flows, inert oil and compressed air previously measured accurately. The mixed fluid is conducted to an area where testing different prototypes can be tested, as well as commercial meters, the flow monophasic, biphasic or multiphasic. The multiphase mixture passes through the testing area and returns to the separator which operates at atmospheric pressure. The plant comprises a data acquisition system that enables acquiring data of the measuring instruments of each fraction as well as those of the sensor being investigated. The aim of this work is the automation of the operation of a laboratory experiment unit (UEEM). In particular, (i) develop networked control systems; (ii) of instrumentation and safety; (iii) automation of the testing operation and testing of the unit.

The FOUNDATION *Fieldbus* technology (FF), an interoperable network with distributed control in the field and simple maintenance, has been applied to the experimental unit. This work shows in practice and in detail the implementation of all the pyramid layers of FOUNDATION *Fieldbus* technology, emphasizing their features, advantages and disadvantages.

**Keywords:** Industrial Automation, Foundation Filedbus, multiphase flow, Multiphase flow laboratory, Oil.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama Estrutural da LEEM, com a Sala de Medições e a planta de utilidades (extraído de [12]).	27
Figura 2 – Diagrama esquemático da UEEM. 1: Tanque de Pressão; 2: Tanque de Armazenamento de Água; 3: Tanque de Armazenamento de Óleo; 4: Transmissores de Pressão, Temperatura e válvula de controle; 5: Compressor de ar para instrumentação; 6: Tanque de Separação água-óleo; 7: Bomba de Água; 8: Bomba de Óleo; 9: Medidor de vazão de água; 10: Medidor de Vazão de ar; 11: Medidor de fração de volume de água (extraído de [22]).	28
Figura 3 – Sala de Medição.	29
Figura 4 – À esquerda Tanque de Pressão T-1 sem instrumentação. À direita, Tanque T-1 instrumentado.	29
Figura 5 – Tanques Reservatórios T-4 e T-5 e Decantador T-2.	30
Figura 6 – Diagrama P&ID de Processo do LEEM (extraído de [12]).	31
Figura 7 – Níveis da pirâmide de automação (extraído de [6]).	35
Figura 8 – Fusão das áreas de automação (extraído de [6]).	36
Figura 9 – Cenário tecnológico das redes industriais (extraído de [8]).	37
Figura 10 – Sistema convencional e Foundation Fieldbus (extraído de [8]).	39
Figura 11 – Comparação entre o modelo OSI e o modelo FF (extraído de [7]).	40
Figura 12 – Codificação Manchester Bifase-L (extraído de [7]).	41
Figura 13 – Sistema de geração do sinal FF (extraído de [42]).	42
Figura 14 – Quantidade de dispositivos por supr e comprimento em metros (extraído de [13]).	43
Figura 15 – Cabo de comunicação FF blindado e com shield (extraído de [7]).	43
Figura 16 – Conexão do cabo ao instrumento (extraído de [13]).	45
Figura 17 – Topologias Fieldbus (extraído de [13]).	46
Figura 18 – Transmissão de dados escalonados (extraído de [7]).	48
Figura 19 – Transmissão de dados não escalonados – Mecanismo de circulação do <i>token</i> (extraído de [7]).	49
Figura 20 – Transmissão escalonada, não escalonada e macrociclo (extraído de [7]).	51
Figura 21 – Controle realizado pelo transmissor e pelo posicionador de válvulas (extraído de [8]).	52
Figura 22 – Tipos de VCR (extraído de [42]).	54
Figura 23 – Configuração de malha de controle utilizando blocos funcionais (extraído de [43]).	57
Figura 24 – Estratégia para o controle de nível e pressão do Tanque T-1 (extraído de [18]).	61
Figura 25 – Resposta ao degrau em malha aberta do controle de nível do tanque T-1 (obtido do <i>software</i> Indusoft Web Studio).	62

Figura 26 – Diagrama de blocos representando a malha de controle com controlador PI utilizado pela Smar (ver bloco PI na biblioteca de blocos funcionais em [11]).	64
Figura 27 – Resposta ao degrau em malha fechada do controle de nível TCV-1 (obtido do <i>software</i> Indusoft Web Studio).	65
Figura 28 – Resposta ao degrau em malha aberta do controle de pressão PCV-1 (obtido do <i>software</i> Indusoft Web Studio).	66
Figura 29 – Resposta ao degrau em malha fechada do controle de pressão PCV-1 (obtido do <i>software</i> Indusoft Web Studio).	68
Figura 30 – Resposta ao degrau em malha aberta do controle de interface LCV-2 (obtido do <i>software</i> Indusoft Web Studio).	68
Figura 31 – Resposta ao degrau em malha fechada controle de interface LCV-2 (obtido do <i>software</i> Indusoft Web Studio).	70
Figura 32 – Rejeição do controle de nível à perturbação da variação de pressão no tanque T-1 (obtido do <i>software</i> Indusoft Web Studio).	71
Figura 33 – Projeto da Camada Física da Rede FF 1.	75
Figura 34 – Projeto da Camada Física da Rede FF 2.	76
Figura 35 – Projeto da Camada Física da Rede FF 3.	76
Figura 36 – Plataforma DFI302 <i>Fieldbus</i> , Smar (extraído de [24]).	79
Figura 37 – Plataforma DFI302 Smar montada no painel.	80
Figura 38 – Implementação de lógicas no Logic View e Syscon (extraída de [17]).	81
Figura 39 – Arquitetura do Sistema – UEEM (desenvolvida pela autora).	82
Figura 40 – Inclusão dos controladores à rede HSE.	83
Figura 41 – Redes HSE e redes H1.	83
Figura 42 – Dispositivos de campo definidos como Link Master e Basic.	84
Figura 43 – <i>Live List</i> das redes H1.	84
Figura 44 – Instrumentos e blocos utilizados para o controle de Nível T-1.	86
Figura 45 – Controle de Nível do tanque T-1.	87
Figura 46 – Blocos do Controle de Nível T-1 para cálculo do <i>foreground</i> .	88
Figura 47 – Instrumentos e Blocos utilizados no Controle de Pressão T-1.	89
Figura 48 – Blocos do Controle de Pressão T-1 para cálculo do <i>foreground</i> .	89
Figura 49 – Blocos de Controle para cálculo do <i>foreground</i> da rede 1.	90
Figura 50 – Instrumentos e Blocos utilizados na Rede FF 2.	92
Figura 51 – Cálculo do <i>foreground</i> e controle de interface água-óleo.	93
Figura 52 – Cálculo do <i>foreground</i> para a rotação das bombas de água e óleo.	94
Figura 53 – Instrumentos e Blocos utilizados na Rede FF 3.	95
Figura 54 – Inserção de blocos funcionais nos dispositivos.	96
Figura 55 – Bloco de Entrada Analógica AI (extraído de [46]).	97
Figura 56 – Estratégia do Controle de Nível do Tanque T-1.	98
Figura 57 – Blocos Funcionais interagindo com lógica <i>ladder</i> através do FFB.	98

Figura 58 – Simulação de um fio desconectado no sensor (à direita).....	99
Figura 59 – Configuração dos parâmetros de um dispositivo de campo.....	99
Figura 60 – Processo UEEM e válvulas manuais de bloqueio (extraído de [30]).	102
Figura 61 – Sistema de intertravamento para a bomba de água.....	102
Figura 62 – Sistema de intertravamento para a bomba de óleo.....	103
Figura 63 – Sistema de monitoração das chaves de nível.....	105
Figura 64 – Tela Principal da UEEM.....	106
Figura 65 – Tela de Alarmes da UEEM.....	106
Figura 66 – Tela de Histórico da UEEM.....	107
Figura 67 – Forma de onda FF obtida a partir da planta sem operação. ...	108
Figura 68 – Forma de onda típica FF (extraído de [42]).	109
Figura 69 – Janela do Syscon que mostra os tempos do macrociclo da rede 1.....	111
Figura 70 – <i>Foreground</i> da rede 1 medido pelo Syscon.....	111
Figura 71 – Janela do Syscon que mostra os tempos do macrociclo da rede 2.....	113
Figura 72 – <i>Foreground</i> da rede 2 medido pelo Syscon.....	113
Figura 73 – Blocos utilizados na Rede FF 3 e Janela do macrociclo.....	114
Figura 74 – Sinal de comunicação FF influenciado pelo compressor de ar para instrumentação.....	115
Figura 75 – Sinal de comunicação FF influenciado pela Bomba de Água e compressor de ar para instrumentação.....	116
Figura 76 – Sinal de comunicação FF influenciado pela Bomba de Água e dois compressores de ar.....	116
Figura 77 – Sinal de comunicação FF influenciado pelas duas Bombas e dois compressores de ar.....	117
Figura 78 – Campos magnéticos gerados por correntes no cabo de potência e <i>Fiedbus</i> (extraído de 25).....	118
Figura 79 – Sinal de comunicação FF com um único terminador.....	119
Figura 80 – Diagrama simplificado de potência do Inversor CFW08 (extraído de [51]).	119
Figura 81 – Diagrama elétrico do filtro dos inversores (Extraído de [52]).	121
Figura 82 – Sinal de comunicação FF com Bomba de Água sem filtro....	121
Figura 83 – Sinal de comunicação FF com Bombas sem filtro.....	122
Figura 84 – Sinal de comunicação FF com Bombas sem filtro.....	122
Figura 85 – Ilustração da técnica ECTM utilizando 12 eletrodos do sistema (extraída de [22]).	124
Figura 86 – Resultado da simulação das técnicas ECTM e ECT com óleo-água para fluxo estratificado (extraída de [22]).	125
Figura 87 – Resultados experimentais estáticos utilizando a técnica ECTM para óleo-água com fluxo estratificado (extraída de [22]).	125
Figura 88 – Sistema ECTM aplicado à UEEM (extraída de [22]).	126

Figura 89 – Resultados experimentais do sistema ECTM de ar-água para fluxo estratificado (extraída de [22]).	127
Figura 90 – Controle de Nível do tanque T-1.	128
Figura 91 – Controle de Pressão do tanque T-1.	128
Figura 92 – Regime de Escoamento bifásico gás-líquido em dutos horizontais: (a) Fluxo borbulhante; (b): fluxo golfadas; (c): fluxo estratificado; (d): fluxo ondulado; (e): fluxo intermitente; ( f ): Fluxo anular (extraído de [53]).	129
Figura 93 – Mapa dos padrões de escoamento (líquido-gás) em tubos horizontais (extraído de [53]).	129
Figura 94 – Padrão de escoamento estratificado.	130
Figura 95 – Posição da válvula de ar para padrão de escoamento estratificado.	130
Figura 96 – Padrão de escoamento estratificado intermitente antes da bolha.	131
Figura 97 – Padrão de escoamento estratificado intermitente com a presença da bolha.	131
Figura 98 – Padrão de escoamento tipo golfada.	132
Figura 99 – Curva característica da rotação da bomba Netzsch e vazão de água. (Estraido de [61]).	132
Figura 100 – Célula Capacitiva – LD302 (extraído de [40]).	136
Figura 101 – Cálculo da pressão diferencial na célula capacitiva (extraído de [59]).	137
Figura 102 – Célula capacitiva do Transmissor de Densidade (extraído de [59]).	138
Figura 103 – Pressão Hidrostática aplicada a Nível variável (extraído de [59]).	139
Figura 104 – Medição da Interface água-óleo utilizando o DT302 (extraído de [59]).	140
Figura 105 – Pulsos gerados por emissor de radiofrequência (extraído de [44]).	141
Figura 106 – Arquitetura básica do sistema de potência de inversor de frequência (extraído de [60]).	143
Figura 107 – Retificação do sinal AC proveniente da rede trifásica (extraído de [98]).	143
Figura 108 – IP`s e ID`s dos controladores e Host	145
Figura 109 – Comando ping no prompt de comando DOS.	145
Figura 110 – Localização dos botões para realizar o <i>Factory Init, Hold e Reset</i> da CPU.	146
Figura 111 – Ícone para realização de backup no ambiente Studio302.	147
Figura 112 – Ícone para realização de desempacotamento do backup.	147

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Características dos cabos FF segundo especificação FF-844 (extraído de [9]). .....	44
Tabela 2 – Tabela de características e identificação dos instrumentos FF..	73
Tabela 3 – Tabela de dados dos instrumentos digitais convencionais. ....	73
Tabela 4 – Tabela de tempo dos macrociclos dos blocos funcionais. ....	86
Tabela 5 – Tabela de dados dos instrumentos digitais convencionais. ....	110

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AI – Analog Input  
AO – Analog Output  
CD – Compel Data  
DAS – Departamento de Automação e Sistemas  
DD – Device Description  
DDL – Device Description Language  
DI – Digital Input  
DO – Digital Output  
ECT –  
ECTM – Electrical Capacitance Tomometry  
EMI – Electromagnetic Interference  
FAS – Fieldbus Acess Sublayer  
FB – Function Block  
FF – Foundation Fieldbus  
FMS – Fieldbus Message Specification  
HSE – High Speed Ethernet  
ID – Identification Device  
IEC – International Eletrothechnical Commission  
IGBT – Insulated-gate Bipolar Transistor  
IHM – Interface Homem-Máquina  
ISA – International Society of Automation  
LAS – Link Active Scheduler  
LEEM – Laboratório de Experimentação de Escoamento Multifásico  
LM – Link Master  
MV – Manipuled Variable  
OD – Object Description  
OPC – OLE for Process Control  
OSI – Open System Interconnection  
PC – Personal Computer  
PD – Physical Device  
PLC – Programmable logic controller  
PN – Probe Node  
PR – Probe Response  
PR – Process Variable  
RD – Report Distribution  
RFI – Radio-frequency Interference  
SACADA – Supervisory Control And Data Acquisition  
SDCD – Sistema Digital de Controle Distribuído  
SP – Set Point

TC – Tomografia Computadorizada

TD – Time Distribution

VCR – Virtual Communication Relationships

VFD – Virtual Field Devices

UEEM – Unidade de Experimentação de Escoamento Multifásico

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>25</b>
1.1 A UNIDADE EXPERIMENTAL .....	26
1.2 OBJETIVOS .....	32
1.3 CONTRIBUIÇÕES .....	32
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	33
<b>2 REDES INDUSTRIAIS</b>	<b>34</b>
2.1 REDES FOUNDATION <i>FIELD</i> BUS H1 .....	37
2.1.1 Camada Física.....	41
2.1.2 Camada de Comunicação .....	46
2.1.3 Camada de Usuário ( <i>User Application</i> ) .....	55
2.2 REDES FOUNDATION <i>FIELD</i> BUS HSE.....	58
<b>3 INSTRUMENTAÇÃO E PROJETO DE CONTROLADORES</b>	<b>59</b>
3.1 INSTRUMENTAÇÃO DA UNIDADE EXPERIMENTAL .....	59
3.2 PROJETO DAS MALHAS DE CONTROLE DA UEEM .....	59
3.2.1 Controle de Nível do Tanque T-1 .....	62
3.2.2 Controle de Pressão do Tanque T-1 .....	65
3.3.1 Controle de Interface de Água-Óleo do Tanque T-1.....	68
3.3.3 Implementação e Resultados.....	70
<b>4 SISTEMA DE CONTROLE VIA REDE FF</b>	<b>72</b>
4.1 ESTUDOS E LEVANTAMENTO DE DADOS DE CAMPO.....	72
4.2 PROJETO DAS REDES FOUNDATION <i>FIELD</i> BUS .....	74
4.2.1 Camada Física.....	74
4.2.2 Definição do Sistema de Controle.....	78
4.2.3 Camada de Comunicação.....	82
4.2.4 Camada de Usuário .....	95
<b>5 SISTEMA INSTRUMENTADO DE SEGURANÇA E SISTEMA SUPERVISÓRIO</b>	<b>101</b>



5.1 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA INSTRUMENTADO DE SEGURANÇA.....	101
5.2 DESENVOLVIMENTO DO <i>SOFTWARE</i> DE SUPERVISÃO.....	105
<b>6 RESULTADOS EXPERIMENTAIS</b>	<b>108</b>
6.1 STARTUP DA PLANTA .....	108
6.2 MEDIÇÃO DOS MACROCICLOS .....	110
<b>6.2.1 Macroциclo Rede 1.....</b>	<b>110</b>
<b>6.2.2 Macroциclo Rede 2.....</b>	<b>112</b>
<b>6.2.3 Macroциclo Rede 3.....</b>	<b>113</b>
6.2 OBTENÇÃO DO SINAL DE COMUNICAÇÃO FF.....	114
<b>7 AUTOMAÇÃO DOS ENSAIOS NA UEEM</b>	<b>123</b>
7.1 TESTES COM MEDIDOR DE FRAÇÃO DE ÁGUA NA UEEM....	123
<b>7.1.1 Funcionamento da UEEM durante os testes.....</b>	<b>127</b>
7.2 IDENTIFICAÇÃO DE PADRÕES DE ESCOAMENTO NA UEEM	128
<b>8 CONCLUSÕES.....</b>	<b>133</b>
<b>APÊNDICE A – INSTRUMENTAÇÃO DA UEEM</b>	<b>136</b>
A.1 LD302- TRANSMISSOR DE PRESSÃO DIFERENCIAL FF.....	136
A.2 TT302- TRANSMISSOR DE TEMPERATURA FF .....	137
A.3 DT302- TRANSMISSOR DE DENSIDADE FF.....	138
A.4 RD400- RADAR DE ONDA GUIADA 4 A 20mA.....	140
A.5 IF302- CONVERSOR DE SINAL 4 A 20mA PARA FF.....	141
A.6 DVC6000- CONTROLADOR DIGITAL DE VÁLVULA FF.....	141
A.7 8800D- MEDIÇÃO DE VAZÃO VORTEX FF .....	142
A.8 8700- MEDIDOR MAGNÉTICO FF .....	142
A.9 CFW08- INVERSOR DE FREQUÊNCIA 0 A 10V OU 4 A 20mA .	142
<b>APÊNDICE B – PROCEDIMENTO PARA STARTUP DA UEEM</b>	<b>145</b>
<b>APÊNDICE C – CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA</b>	<b>148</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>173</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Escoamentos multifásicos são muito comuns na produção e transporte de óleo e gás. Nestes escoamentos, as fases presentes podem escoar dispostas em diferentes configurações espaciais no interior do duto, denominadas padrões de escoamentos [21].

A identificação de tais padrões é essencial para questões que estão estritamente relacionadas ao retorno econômico do campo, como, por exemplo, nas medições das vazões volumétricas transportadas, determinação da queda de pressão ao longo das linhas de escoamento, gerenciamento da produção e fiscalização [21].

A previsão do comportamento das fases envolvidas é fundamental para otimização do processo, o que lhe confere forte apelo econômico. Por isso, a busca por uma maior compreensão da fenomenologia associada a escoamentos desta natureza, aliada ao desenvolvimento de ferramentas capazes de descrevê-los de maneira cada vez mais precisa, é um grande desafio ainda nos dias de hoje [10].

Diversas pesquisas vêm sendo realizadas desde a década de 40 com o objetivo de desenvolver métodos para previsão dos padrões de escoamento. Em geral, duas abordagens são consideradas: os modelos mecanicistas e as correlações empíricas. Os métodos mecanicistas visam o desenvolvimento de soluções analíticas descritivas do escoamento a partir dos conceitos básicos da mecânica dos fluidos. A metodologia empírica, por outro lado, consiste na obtenção de correlações por meio da análise de dados experimentais [21].

Neste contexto, o presente projeto de mestrado trata da automação do **L**aboratório **E**xperimental de **E**scoamento **M**ultifásico (**LEEM**) do Departamento de Automação e Sistemas (**DAS**), que será objeto de estudos e pesquisas na área de escoamentos multifásicos aplicados à indústria do petróleo. O laboratório visa o desenvolvimento de medidores de vazão multifásicos; o desenvolvimento de novas técnicas de controle para escoamentos multifásicos, bem como o desenvolvimento de novas técnicas de separação do fluido em linha. O **LEEM** conta com uma **U**nidade de **E**xperimentação de **E**scoamento **M**ultifásico (**UEEM**) e com uma sala de medição para testes de protótipos de medição e controle totalizando uma área física de 85m<sup>2</sup>.

Para a automação da planta piloto foi aplicada a tecnologia de redes **FOUNDATION Fieldbus (FF)**, uma rede aberta com controle distribuído em campo.

Um sistema de automação que utiliza redes abertas engloba diferentes metodologias e tecnologias, onde não existe mais apenas um

fornecedor completo de soluções e sim diversos fornecedores que possuem conhecimento em determinado segmento tecnológico. Dessa forma, a automação industrial trata da integração e interoperabilidade entre as diversas tecnologias diferentes no Mercado [2]. Tal interoperabilidade será mostrada neste trabalho, que une a tecnologia FOUNDATION *Fieldbus* com a convencional que utiliza cartões de entradas e saídas digitais para o sistema de intertravamento e segurança da planta piloto, além disso, a comunicação dos dispositivos de campo se dá entre três diferentes fabricantes FF: Smar, Fisher e Rosemount.

Além da interoperabilidade, a manutenção de uma rede *Fieldbus* é bastante simples. Caso seja detectado algum comportamento ou condição anormal, ações corretivas podem ser iniciadas rapidamente, com total segurança já que todos os dispositivos presentes no sistema podem ser visualizados via *software*, assim como as interações existentes entre eles, facilitando a detecção de um problema qualquer e tornando assim a sua manutenção mais rápida e fácil [1].

Este trabalho de dissertação mostra na prática e de forma detalhada a execução de todas as camadas da pirâmide da tecnologia FOUNDATION *Fieldbus*, enfatizando as suas funcionalidades, vantagens e desvantagens, visando contribuir para aproximar o meio acadêmico às indústrias de processo.

## 1.1 A UNIDADE EXPERIMENTAL

O Departamento de Automação e Sistemas (DAS) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) construiu em suas dependências uma unidade em escala piloto (UEEM) para experimentação de escoamento multifásico voltada às necessidades da indústria de petróleo e gás.

Foram realizadas pesquisas para se encontrar plantas piloto de escoamento multifásico em universidades brasileiras, estrangeiras e privadas, patrocinadas por indústrias, porém, até o momento de defesa deste trabalho não se obteve conhecimento de nenhuma outra unidade de experimentação de escoamento trabalhando com água/ar/óleo de escala semelhante e com o nível de instrumentação e automação presente nesta.

Com relação à tecnologia dos equipamentos, arquitetura do sistema e *softwares* utilizados, a unidade experimental possui as mesmas características de processos industriais atuais na área de petróleo e gás. Já com relação ao processo, a unidade permite impor diversas condições de escoamento desejadas, pois é possível pré-definir as vazões de cada fração de água, ar e óleo e assim, forçar o sistema a apresentar uma

oscilação na vazão de qualquer uma das frações com a frequência e amplitude desejada, o que permite simular em um duto muito curto alguns dos comportamentos de oleodutos industriais.

A Figura 1 mostra o projeto em 3D do LEEM. O laboratório conta com uma Unidade de Experimentação de Escoamento Multifásico (UEEM) e com uma sala de medição onde serão realizados os testes para desenvolvimento de protótipos de medição e controle.

O LEEM ocupa uma área física total de  $85 \text{ m}^2$ , sendo  $67 \text{ m}^2$  destinados à UEEM, que constitui o núcleo do laboratório, onde estão instalados os equipamentos de utilidades como o separador multifásico, as bombas de cavidades progressivas para água e óleo, compressores de ar, tanques de armazenamento de fluidos, fosso de contenção de vazamentos e instrumentos de medição. Os  $18 \text{ m}^2$  restantes são destinados a uma sala de medição de onde a unidade é operada. Nesta sala foi instalada uma parte da tubulação em acrílico, a fim de se observar a mistura dos fluidos e assim, realizar testes para o desenvolvimento de medidores [12].

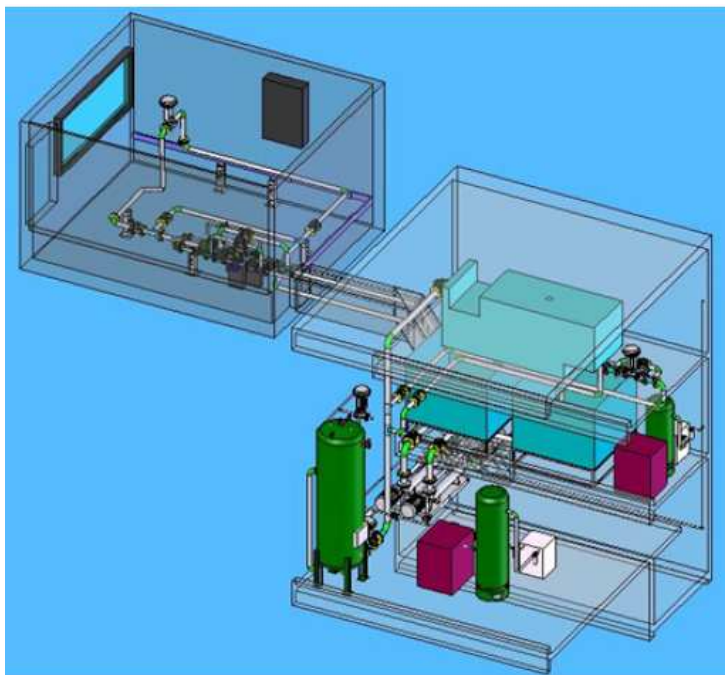


Figura 1 – Diagrama Estrutural da LEEM, com a Sala de Medições e a planta de utilidades (extraído de [12]).

A figura 1 mostra a vista geral da unidade com seus equipamentos de utilidades, já o diagrama P&ID do UEEM é mostrado adiante, na figura 6. Seu processo consiste em misturar vazões controladas de água, óleo inerte e ar comprimido. O fluido misturado é então conduzido para a sala de ensaios onde podem ser testados diferentes protótipos, assim como medidores comerciais, de vazão monofásica, bifásica ou multifásica. A mistura multifásica passa pela área de testes e retorna ao separador que opera à pressão atmosférica.

Para que ocorra a mistura, inicialmente, água e/ou óleo são bombeados pelas bombas rotativas de deslocamento positivo da Netzsch, B-1 e B-2 a partir de seus reservatórios T-4 e T-5 respectivamente, o ar comprimido também é misturado, partindo do reservatório de ar T-3. Cada reservatório de líquido possui 2.412 l. Os fluidos seguem separadamente por 15 metros até para a sala de medição (Figura 3), onde se misturam. A partir daí, a mistura segue por mais cerca de 30 metros até o tanque de pressão T-1 (Figura 4).

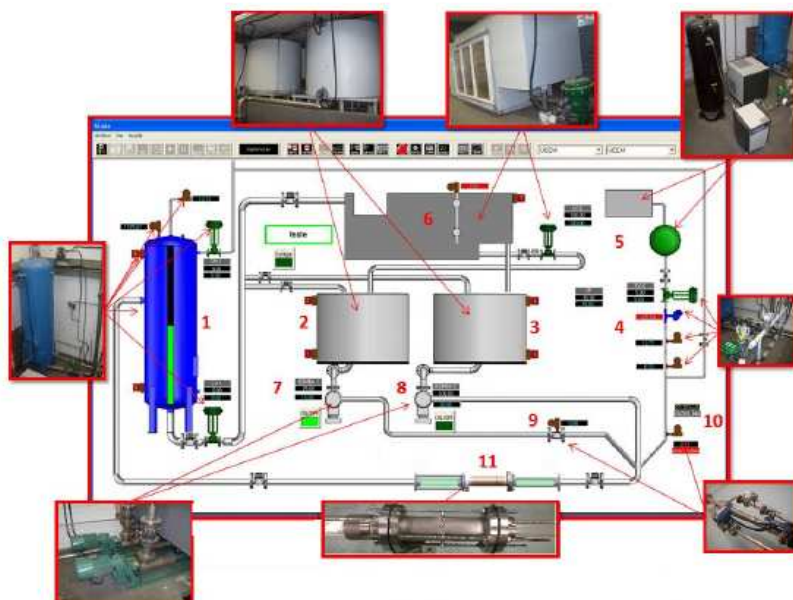


Figura 2 – Diagrama esquemático da UEEM. 1: Tanque de Pressão; 2: Tanque de Armazenamento de Água; 3: Tanque de Armazenamento de Óleo; 4: Transmissores de Pressão, Temperatura e válvula de controle; 5: Compressor de ar para instrumentação; 6: Tanque de Separação água-óleo; 7: Bomba de Água;

8: Bomba de Óleo; 9: Medidor de vazão de água; 10: Medidor de Vazão de ar; 11: Medidor de fração de volume de água (extraído de [22]).



Figura 3 – Sala de Medição.



Figura 4 – À esquerda Tanque de Pressão T-1 sem instrumentação. À direita, Tanque T-1 instrumentado.

No tanque T-1, com capacidade de 1.500 l e pressão máxima de 2,5 bar, o ar comprimido é responsável por enviar a mistura água-óleo até o separador T-2 que está fisicamente localizado no mezanino da UEEM. O ar comprimido é então filtrado e descartado para atmosfera.

O separador T-2, com capacidade de 2.152 l trabalha à pressão atmosférica. Uma vez separada as fases, água e óleo são novamente armazenados nos tanques reservatórios T-4 e T-5, fechando assim o ciclo do processo. No caso de a planta estar operando somente com água e óleo, o ar comprimido será enviado do reservatório T-3 diretamente para o tanque T-1. A Figura 5 mostra a imagem dos três tanques.



Figura 5 – Tanques Reservatórios T-4 e T-5 e Decantador T-2.

Já nos casos de escoamentos monofásicos de água ou óleo, não há necessidade do fluido passar pelo decantador (T-2), assim o líquido é direcionado do tanque T-1 diretamente para seu reservatório (T-3 ou T-4). Para que se obtenha o processo desejado, válvulas manuais devem ser operadas.

Conforme se pode visualizar no Diagrama P&ID (figura 6), foram especificadas três malhas de controle local para o funcionamento da unidade, sendo elas: o controle de nível de água e/ou óleo do tanque de Pressão (T-1), o controle de pressão do Tanque de Pressão (T-1) e o controle de nível de interface água/óleo do Decantador Água-Óleo (T-2).

Além destas, foram consideradas as monitorações de nível alto e baixo de todos os tanques da UEEM, monitorações das vazões das linhas de água e ar comprimido, monitorações de pressão e temperatura da linha de ar, monitoração das rotações dos motores e sistemas de intertravamento e segurança da planta. Todo o sistema de controle do LEEM será detalhado nas próximas seções.

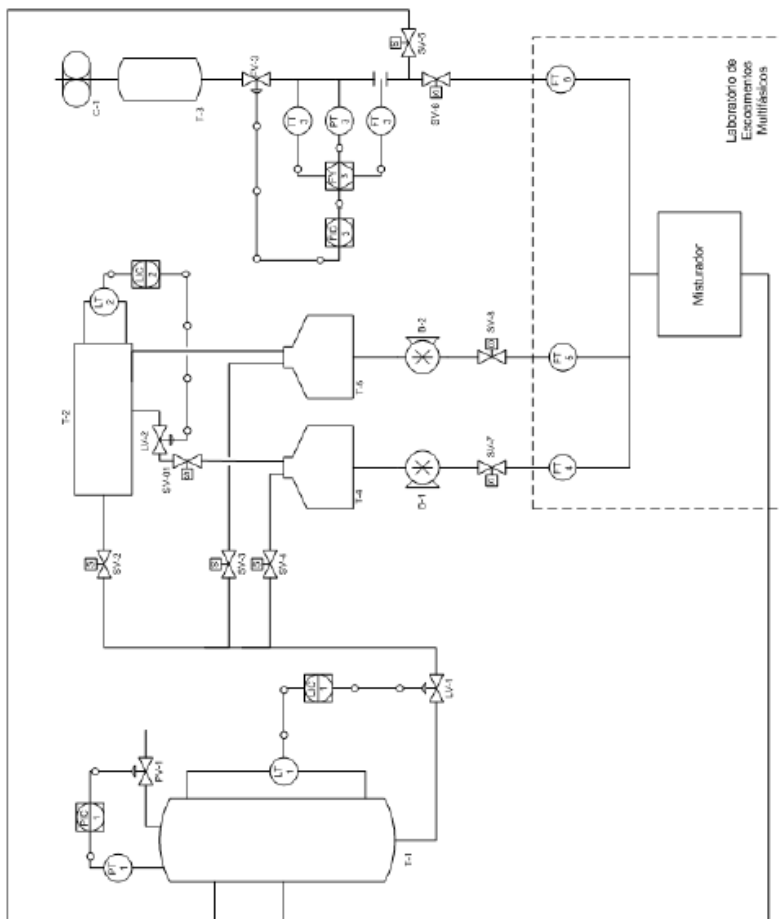


Figura 6 – Diagrama P&ID de Processo do LEEM (extraído de [12]).

O LEEM possui basicamente quatro linhas de duto construídas em aço inoxidável por onde escoam todo o fluido da unidade:

L1 - Linha de ar comprimido com diâmetro de 1 in (polegada), que se inicia na saída do reservatório de ar do compressor, localizado na casa de utilidades e segue até a entrada da sala de medição, totalizando 22 metros [12].



L2 - Linha de água com 2 *in* de diâmetro e 15 metros de comprimento, que inicia-se na saída da bomba de água, localizada da casa de utilidades, e segue até a entrada da sala de medição [12].

L3 - Linha de óleo, também com 15 metros de comprimento, mas com diâmetro de 3 *in*, que assim como a linha de água, se inicia após a bomba de óleo e também segue até o laboratório de medição [12].

Neste ponto, os três dutos se unificam formando a L4, Linha de água-óleo-ar, com 30 metros de comprimento e 3 *in* de diâmetro, que interliga a sala de medição ao Tanque de Pressão (T-1) localizado na casa de utilidades [12].

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho consiste na automação de uma planta piloto de escoamento multifásico existente no Departamento de Automação e Sistemas da UFSC, utilizada para realizar ensaios experimentais de importância para a indústria do petróleo, baseada na tecnologia de redes industriais FOUNDATION *Fieldbus*.

Para tanto, foi necessário conhecer detalhadamente todo processo da unidade de experimentação a fim de se levantar os dados necessários de instrumentação e controle para a automação da mesma; aplicar na prática o conceito das redes FOUNDATION *Fieldbus* desde a camada física até a camada de usuário, o que acaba por envolver o desenvolvimento das malhas de controle via *software*, o desenvolvimento da lógica do sistema de intertravamento e segurança da planta bem como as interligações físicas da rede e *startup* da planta.

## 1.3 CONTRIBUIÇÕES

Como contribuições à área de automação e redes industriais, pode-se citar a medição dos macrociclos das redes FOUNDATION *Fieldbus* em um sistema industrial real, a verificação da influência de ruídos na rede FF causados por diversos fatores, podendo acarretar na degradação do sinal de comunicação, a entrega de uma unidade de experimentação piloto onde é possível se realizar diversos estudos e pesquisas em áreas como escoamento multifásico, instrumentação, automação, redes industriais, controle, química, entre outros, além de proporcionar o contato mais próximo possível entre a universidade e a indústria.

## 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está dividido em 8 capítulos e 3 apêndices. No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica de redes FOUNDATION *Fieldbus*. Já o capítulo 3 mostra a modelagem e identificação dos processos da UEEM assim como o tempo de resposta das malhas de controle.

Os capítulos 4 e 5 mostram o desenvolvimento do trabalho prático, onde se aplicou todas as camadas de redes FOUNDATION *Fieldbus* à planta piloto. O capítulo 6 apresenta o *startup* da planta, os macrociclos medidos das redes 1, 2 3 da UEEM, além da coleta e estudo do sinal de comunicação FF, em diversos cenários, depois de a unidade estar em operação. O capítulo 7 apresenta uma aplicação realizada na UEEM, onde foi testada uma nova técnica de medição de fração de volume de água desenvolvida no DAS-UFSC e, finalmente, no capítulo 8 apresentam-se as conclusões e sugestões para futuros trabalhos e melhorias na unidade.

O Apêndice A apresenta os instrumentos de campo utilizados na automação da unidade. Já o Apêndice B mostra as etapas a serem realizadas para *startup* da planta. Finalmente no Apêndice C, encontra-se toda a implementação das malhas de controle realizadas no controlador FF.

## 2 REDES INDUSTRIAIS

Nos anos 40 os dispositivos de controle no chão-de-fábrica utilizavam os sinais de pressão 3-15psi para monitorar as variáveis de processo. Já nos anos 60, os sinais analógicos de 4-20mA foram introduzidos na indústria para monitorar tais variáveis [2].

Na década de 70, surgiram os microprocessadores propiciando uma grande disseminação dos computadores, que teve sua maior popularização no final da década de 80 com o lançamento do *Personal Computer*, mais conhecido como PC. O setor industrial recebeu de braços abertos o computador e uma infinidade de dispositivos periféricos que inicialmente eram utilizados em escritórios, setores de compra e estoque. Posteriormente, tais dispositivos passaram a ser vistos também no chão de fábrica, a fim de coletar dados para melhorar a produção e a qualidade, bem como controlar processos produtivos [5].

Uma necessidade básica foi sentida logo no início da introdução dos computadores: a troca de dados entre os vários dispositivos computacionais, que a princípio ocorria por meio de cartões, fitas magnéticas, disquetes, entre outros. Posteriormente foram desenvolvidas e aperfeiçoadas técnicas de comunicação a fim de permitir trocas de dados entre os diversos terminais e o computador. Os dados poderiam ser transmitidos em série (um bit após o outro) ou em paralelo (o chamado *byte*) através de interfaces seriais ou paralelas [5].

Assim surgiam as redes de computadores que logo passaram a ser largamente utilizadas e hoje são tão difundidas quanto os computadores. Também no chão de fábrica as redes passaram a ser o meio dominante para troca de informações, no entanto, foram necessárias várias adaptações, já que grande parte do ambiente industrial é caracterizada por condições físicas agressivas, como calor ou frio excessivo, poeira, gás inflamável, vibração, fontes que geram interferências eletromagnéticas, grandes distancias entre equipamentos, além de uma infinidade de fabricantes de dispositivos que precisam se comunicar de forma padronizada [5].

Já no início dos anos 90, tentaram-se estabelecer vários protocolos de comunicação no mercado de automação industrial, entretanto, devido ao fracasso do processo de normalização de um único protocolo, várias associações técnicas foram estabelecidas propondo protocolos abertos onde vários fabricantes poderiam desenvolver produtos, oferecendo ao usuário, independência na escolha [1].

Assim, entre os vários grupos que se uniram estavam: A *International Society of Automation* (ISA), a *International*

*Electrotechnical Commission* (IEC), o comitê de padronização do PROFIBUS (norma alemã) e o comitê de padronização do FIP (norma francesa). Esses formaram o comitê internacional IEC/ISA SP50 *Fieldbus* [2].

O desenvolvimento deste padrão internacional demorou muitos anos, então todas as organizações interessadas convergiram para criar o *fieldbus* padrão IEC que foi denominado IEC61158 com oito protocolos distintos: FOUNDATION Fieldbus H1, ControlNet, PROFIBUS, P-Net, FOUNDATION Fieldbus HSE (*High Sped Ethernet*), Interbus, SwiftNet e WorldFIP [2].

A figura 7 apresenta os níveis hierárquicos da pirâmide de automação industrial, classificados em função do tipo de informação que trafega na rede e do tipo de equipamentos conectados a ela.

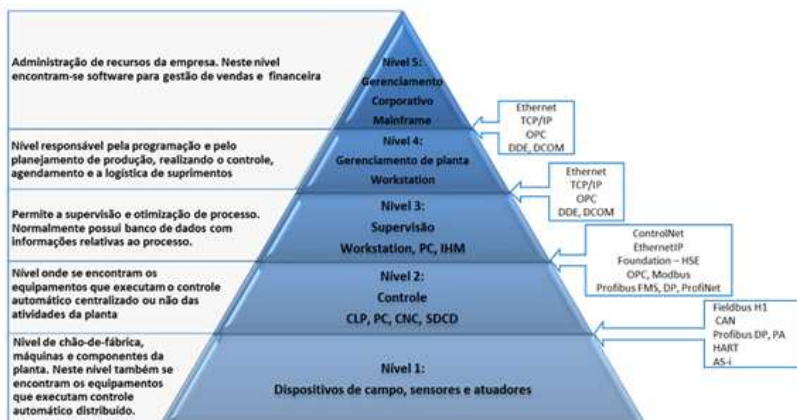


Figura 7 – Níveis da pirâmide de automação (extraído de [6]).

As redes *fieldbus* (ou redes de campo), presentes nos níveis 1 e 2 da pirâmide interligam basicamente instrumentos inteligentes de campo com CLP do sistema de controle [4].

As redes de controle (Nível 3), são responsáveis pela conexão entre a interface homem-máquina (IHM) e a CPU (controladora) do sistema de controle. Esta rede faz a conexão entre PCs e CLPs (Controladores Lógicos Programáveis) sendo também parte integrante dos SDCDs (Sistema Digital de Controle Distribuído) [4].

Já as redes de gerenciamento (níveis 4 e 5) se caracterizam por interligar as IHMs dos sistemas de controle com um nível hierárquico superior, ou seja, com os computadores nos quais rodam as aplicações

de controle avançado, otimização, planejamento de produção, ERPs, entre outros [4].

As arquiteturas de redes industriais devem fazer com que os sinais trafeguem desde o chão de fábrica até o nível de informação gerencial. Por isso, a tecnologia da informação tem sido determinante no desenvolvimento da automação, em que a comunicação vem se expandindo rapidamente no sentido horizontal (níveis inferiores) assim como no sentido vertical [2] [6].

Assim, quanto mais informação, melhor uma planta pode ser operada, gerando mais produtos e tornando-se mais lucrativa. A informação digital e os sistemas abertos permitem que se colem os mais diversos tipos de dados para inúmeras finalidades [6].

A disseminação do uso das redes industriais permite ao usuário final obter vantagens em todo sistema como facilidade e segurança na aquisição dos dados, comunicação com outros dispositivos de forma eficiente e melhora do desempenho da produção através da adequação dos tempos de resposta das redes de chão de fábrica [2].

E ainda, a automação passou a extrapolar os limites de chão de fábrica, continuando após o produto acabado através da automação da área de negócios, como mostra a figura 8 [6].



Figura 8 – Fusão das áreas de automação (extraído de [6]).

Dentre as redes *fieldbus*, pode-se subdividi-las em três grupos distintos (Figura 9):

As Redes Sensorbus, que são utilizadas para aplicações em nível discreto. Por isso, os equipamentos que se conectam à rede são tipicamente sensores. Os dados que nela trafegam estão no formato de bits. Estas redes cobrem pequenas distâncias, cerca de 100m [4].

As redes Devicebus conectam equipamentos discretos e analógicos, por onde trafegam dados no formato de bytes. Algumas redes devicebus permitem o tráfego de pacotes de mensagens. Estas redes cobrem distâncias maiores, até 9.500m [4].

As Redes Fieldbus também conectam equipamentos discretos e analógicos, todavia, nesta rede trafegam dados no formato de pacote de mensagens, já que todos os padrões de rede pertencentes ao grupo fieldbus disponibilizam informações de diagnóstico. Estas redes cobrem distâncias de até 9.500m [4].

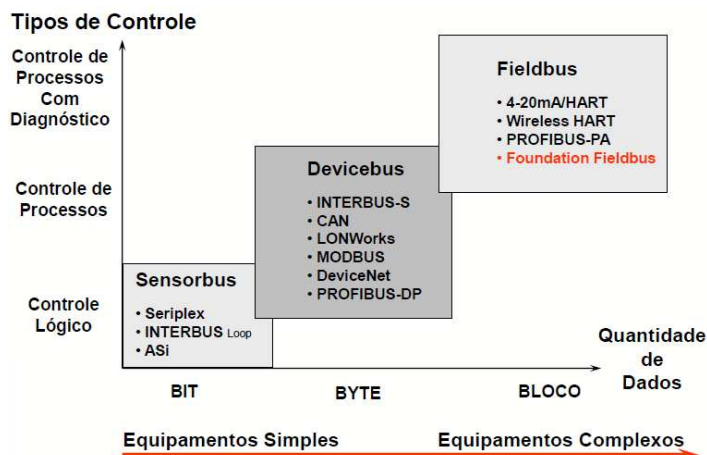


Figura 9 – Cenário tecnológico das redes industriais (extraído de [8]).

Simplificadamente pode-se dizer que as redes dos grupos sensorbus e devicebus são mais utilizadas na indústria de manufatura, enquanto as redes do grupo fieldbus são utilizadas na indústria de processo [4].

## 2.1 REDES FOUNDATION *FIELDBUS* H1

Conforme citado no tópico acima, diversos fabricantes de sistemas de comunicação industriais buscaram desenvolver suas próprias soluções para *fieldbus* que, no entanto, não apresentavam todos os requisitos necessários às diversas aplicações da área de chão de

fábrica. Então, para suprir essa deficiência, em 1985 a ISA começou a desenvolver um padrão único para o *fieldbus*, que passou ser conhecido pelo nome da comissão encarregada da proposta (ISA SP-50). O objetivo dessa normalização era criar um único padrão internacional para o *fieldbus* [5].

Desta proposta, somente uma das sete partes planejadas estava completa, a IEC 61158-Part 2 (Padrão de Camada Física) que está disponível desde 1993 e as demais partes ainda estão em discussão ou em vias de conclusão. Como o processo de normalização levou muito tempo, um grupo de fabricantes teve a iniciativa de se unir e começar a usar as atuais especificações disponíveis, assumindo que seriam definidas as partes faltantes desse padrão num futuro próximo [5].

Assim, a tecnologia FOUNDATION *Fieldbus* surgiu a partir da organização *FieldBus* Foundation dedicada à definição de um padrão *FieldBus* simples e interoperável. Estabelecida em setembro de 1994, a Foundation é uma corporação sem fins lucrativos, formada por aproximadamente 120 dos maiores fornecedores e usuários finais de produtos de controle de processo e automação industrial do mundo. Trabalhando em conjunto, estas companhias fornecem suporte para um padrão *FieldBus* usado mundialmente, e têm feito as maiores contribuições para o desenvolvimento do padrão. Os primeiros produtos foram inseridos no mercado em 1996 [3] [5].

*Fieldbus* é uma denominação genérica do termo “barramento de campo” que é utilizado para interligar elementos no chão de fábrica. O *fieldbus* pode ser definido como uma linha de comunicação serial, digital, bidirecional para a interligação dos dispositivos primários de automação a um sistema integrado de automação de controle de processos [5].

Na figura 10, à esquerda é mostrado um sistema convencional de ligação, onde os equipamentos de chão de fábrica são conectados ponto-a-ponto aos cartões de entrada e saída analógicos e digitais. Já à direita está a tecnologia FOUNDATION *Fieldbus* H1, onde todos os equipamentos de campo estão conectados ao dispositivo de ligação (*Bridge*) por um único cabo.

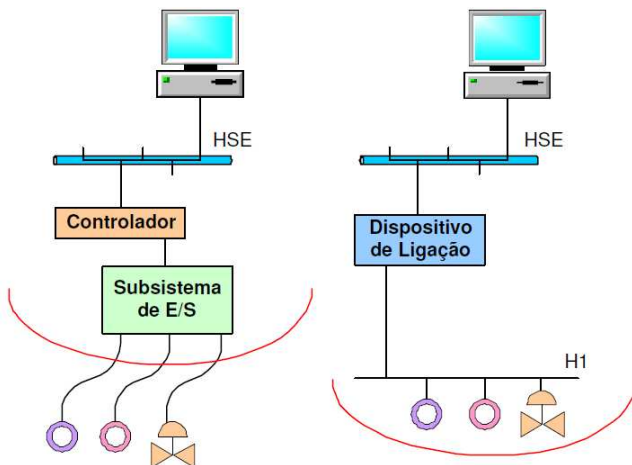


Figura 10 – Sistema convencional e Foundation Fieldbus (extraído de [8]).

A rede H1 é a rede FF de baixa velocidade, com uma taxa de transmissão de 31,25kbps conforme a norma IEC 61158-2, que apresenta inúmeras vantagens quando comparada com a tecnologia convencional 4 a 20mA amplamente difundida nas indústrias [8] [5]:

- Redução do cabeamento, pela utilização de um meio físico compartilhado;
- Otimização do *hardware* por não utilizar cartões de E/S, com isso, conseqüente redução no tamanho dos painéis e diminuição na quantidade de borneiras utilizadas;
- Redução dos custos e complexidade do projeto de engenharia, instalação e manutenção;
- Alimentação do instrumento pelo mesmo cabo de sinal *fieldbus* baseado na norma IEC 61158-2;
- Opções de segurança intrínseca;
- Grande capacidade de diagnóstico dos instrumentos;
- Capacidade de realizar funções de configuração e calibração via rede através de uma estação de trabalho, permitindo obter e/ou alterar dados de instrumentação em tempo real, o que permite a implementação da manutenção proativa;
- Capacidade de auto reconhecimento do instrumento na rede permitindo fácil instalação e *download* de parâmetros;
- Interoperabilidade, entre outras;



Diferente de protocolos de rede proprietários, a FF não é possuída por qualquer companhia individualmente, nem controlada por um único país. A FF é um padrão aberto e interoperável baseado no modelo de comunicação OSI (*Open System Interconnection*) [3].

A fim de eliminar o *overhead* indesejável na comunicação de chão de fábrica, a tecnologia FOUNDATION *fieldbus*, assim como outras, utiliza apenas 3 das 7 camadas do modelo OSI (figura 11). São elas: [7]

- **Camada Física (*Physical Layer*):** corresponde à camada 1 do modelo OSI;
- **Pilha de Comunicação (*Communication Stack*):** corresponde às camadas 2 e 7 do modelo OSI;
- **Camada de Usuário:** Inexistente no modelo OSI.

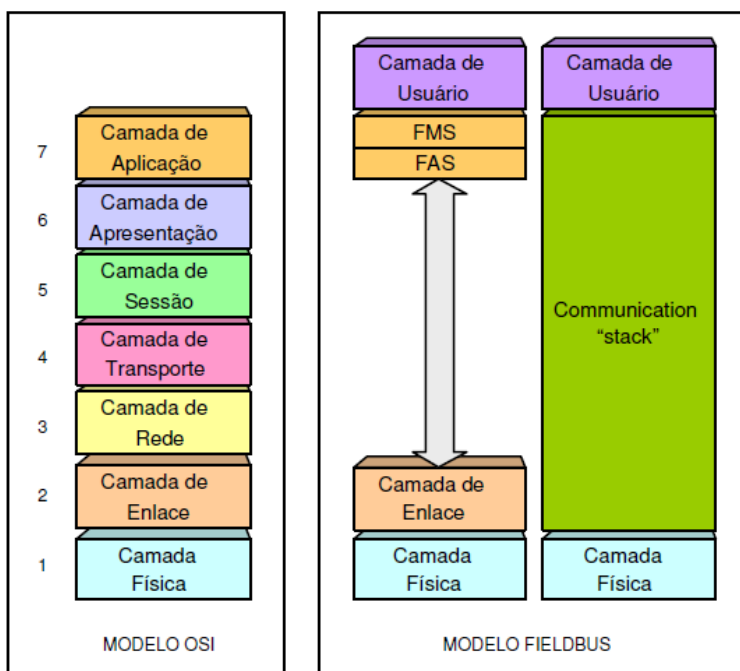


Figura 11 – Comparação entre o modelo OSI e o modelo FF (extraído de [7]).

### 2.1.1 Camada Física

Esta é a camada que conecta os dispositivos em campo. Ela segue a definição proposta pela ISA SP-50. A Norma ANSI/ISA-SP50.02-1992 (“*Fieldbus Standard for Use in Industrial Control Systems Part 2: Physical Layer Specification and Service Definition*”), aprovada em 17 de maio de 1994, trata do meio físico para a realização das interligações [9] [5].

Os principais itens definidos na camada física são a transmissão de dados somente digital, comunicação bidirecional, código Manchester, modulação de voltagem de sinal, velocidade de transmissão padronizada em 31.25Kbps para rede H1, opções de segurança intrínseca e não intrínseca para barramento com energia e para barramento sem energia [5].

Os sinais FF são codificados utilizando a técnica Manchester Bifase-L. É uma comunicação síncrona que envia os sinais de dados combinados com o período do relógio (correspondente ao tempo de um bit). Uma transição positiva no meio do período do relógio equivale a lógica "0" e uma transição negativa equivale a lógica "1", como ilustrado na Figura 12 [7].

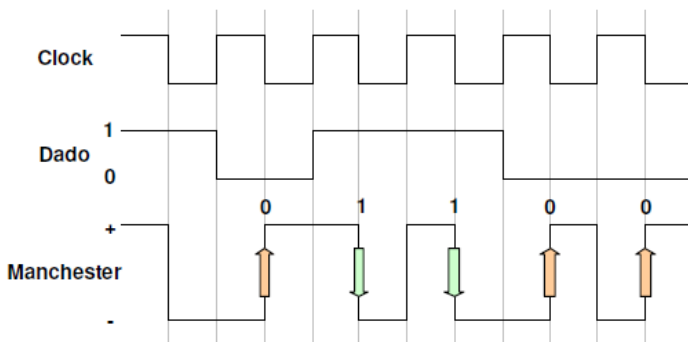


Figura 12 – Codificação Manchester Bifase-L (extraído de [7]).

O transmissor irá modular o sinal variando a corrente de 15 a 20mA pico-a-pico, a uma frequência de 31.25kbps em uma carga equivalente a 50  $\Omega$  (dois terminadores de 100  $\Omega$  em paralelo). Isto resulta em uma tensão modulada de 0.75 a 1V pico-a-pico sobre a tensão contínua de alimentação do barramento (Figura 13). O valor da tensão da fonte de alimentação pode variar de 9 a 32V, no entanto aplicações de segurança intrínseca possuem outros requerimentos [7].

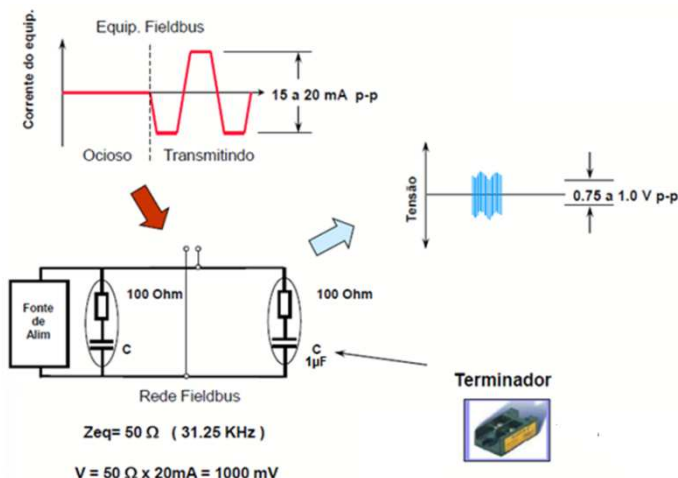


Figura 13 – Sistema de geração do sinal FF (extraído de [42]).

As regras básicas presentes na norma para validação de uma rede FF-H1 são, entre outras: [8]

- A rede é formada por uma linha tronco com spurs (derivações) e deve ser finalizada por um terminador passivo.
- O comprimento máximo da linha tronco e da soma de todos os spurs deve ser de 1900m (sem repetidores).
- Repetidores podem ser utilizados para regenerar o sinal caso seja excedida a especificação de comprimento máximo, porém o número de repetidores não pode exceder a quatro.
- O número de instrumentos na rede com velocidade padronizada de 31.25Kbps pode ser:
  1. 2 a 32 instrumentos numa conexão não intrinsecamente segura com fonte de alimentação separada do cabo de comunicação *fieldbus*.
  2. 1 a 12 instrumentos quando a aplicação não requer segurança intrínseca e os instrumentos são alimentados pelo mesmo cabo de comunicação *fieldbus*.
  3. 2 a 6 instrumentos para aplicações de segurança intrínseca quando os instrumentos recebem a sua alimentação diretamente do cabo de comunicação.
- A distância máxima entre dois instrumentos quaisquer não deve exceder 9500m.

- O cabo *fieldbus* deve ser polarizado.
- O comprimento dos spurs deve ser calculado obedecendo aos dados da tabela abaixo:

Total Devices	1 por spur	2 por spur	3 por spur	4 por spur
25-32	1 m	1 m	1 m	1 m
19-24	30 m	1 m	1 m	1 m
15-18	60 m	30 m	1 m	1 m
13-14	90 m	60 m	30 m	1 m
1-12	120 m	90 m	60 m	30 m

Figura 14 – Quantidade de dispositivos por spur e comprimento em metros (extraído de [13]).

- Um sistema *fieldbus* deve ser capaz de continuar operando enquanto um instrumento está sendo conectado ou desconectado da rede H1.

#### 2.1.1.1 O Cabo de Comunicação FF

Apesar de a norma padronizar comprimento máximo do tronco da rede H1, algumas considerações devem ser consideradas a fim de minimizar satisfatoriamente problemas de comunicação. O comprimento máximo da rede está relacionado às características do cabo utilizado, à topologia escolhida, à quantidade e ao tipo de instrumentos utilizados [9].

A rede FOUNDATION *Fieldbus* H1 utiliza pares de cabos trançados a fim de minimizar ruídos eletromagnéticos externos que são induzidos no cabo, por isso, deve haver um *shield* sobre os pares trançados para reduzir o ruído, assim como a blindagem do cabo, apesar se não ser obrigatória [9] [7].



Figura 15 – Cabo de comunicação FF blindado e com shield (extraído de [7]).

O cabo blindado de par trançado é conhecido como Tipo A, sendo o mais recomendado. Além deste, existem outros tipos que poderão ser usados, como os multicabos de pares trançados com blindagem total, conhecido como Tipo B; além do par trançado múltiplo

sem blindagem (Tipo C) e o cabo multipar sem pares trançados e com blindagem total (tipo D) [9].

Recentemente a Fieldbus FOUNDATION lançou a especificação FF-844, que descreve requisitos para o uso de cabos. A FF-844 padroniza: [9]

<b>Parâmetros</b>	<b>Tipo A</b>	<b>Tipo B</b>	<b>Tipo C</b>	<b>Tipo D</b>
Impedância característica, $Z_0$	100 $\Omega \pm$ 20%	100 $\Omega \pm$ 30%	Não especificada	Não especificada
Cobertura do Shield	90%	90%	Não especificada	Não especificada
Atenuação máxima do sinal	3dB/Km	5dB/Km	8dB/Km	8dB/Km
Área da seção transversal	0.8 (18AWG)	0.32 (22AWG)	0.13 (26AWG)	1.25 (16AWG)
Comprimento máximo	1900m	1200m	400m	200m

Tabela 1 – Características dos cabos FF segundo especificação FF-844 (extraído de [9]).

Deve-se lembrar de que a impedância característica varia de acordo com a temperatura, por isso, o cabo deve estar dentro da variação aceitável sob as condições de temperaturas operacionais e não da temperatura ambiente [9].

A FF-844 especifica que os tipos de shield dos cabos certificados devem ter fitas de poliéster metalizado com um mínimo de 90% de cobertura [9].

O diâmetro externo do cabo também é muito importante, pois ele afeta a selagem na instalação, tanto na conexão com o instrumento (Figura 16), quanto na caixa de junção, tendo como consequência a diminuição da isolamento o que evita a entrada de água e outros agentes químicos [9].



Figura 16 – Conexão do cabo ao instrumento (extraído de [13]).

### 2.1.1.2 Cálculo do comprimento máximo do cabo

Uma rede FOUNDATION *Fieldbus* consiste no comprimento total dos cabos, somando-se os comprimentos do tronco e os comprimentos de todos os spurs. Um spur pode variar de 1 a 120m de comprimento. Um spur com menos de 1 metro é chamado de *splice* [9].

A equação [1] pode ser usada para calcular o comprimento máximo da rede [9].

$$LT(\max) \leq \frac{\left( (V_{ps} - V_{min}) \cdot 10^6 \right) - (I_d \cdot 2 \cdot R_s \cdot L_s)}{\sum I_d \cdot 2 \cdot R_t}$$

Onde:

- $LT(\max)$  = Comprimento máximo do tronco [m]
- $V_{ps}$  = Tensão do suprimento de energia [V]
- $V_{min}$  = Maior tensão mínima dentre todos os instrumentos de campo [V]
- $I_d$  = Valor mínimo da corrente DC consumida por um instrumento de campo [mA]
- $R_s$  = Resistência especificada pelo fabricante do cabo do spur [ $\Omega$ /Km]
- $L_s$  = Comprimento do spur [m]
- $\sum I_d$  = Soma total da corrente DC consumida por todos os instrumentos do segmento [mA]

- $R_t$  = Resistência especificada pelo fabricante do cabo do tronco [ $\Omega$  /Km]

### 2.1.1.3 Topologias Fieldbus

As topologias suportadas são barramento com spurs, ponto a ponto, árvore, barramento ponto a ponto (não recomendada, por motivos de dificuldade de manutenção) e mista (junção das demais topologias) [5].

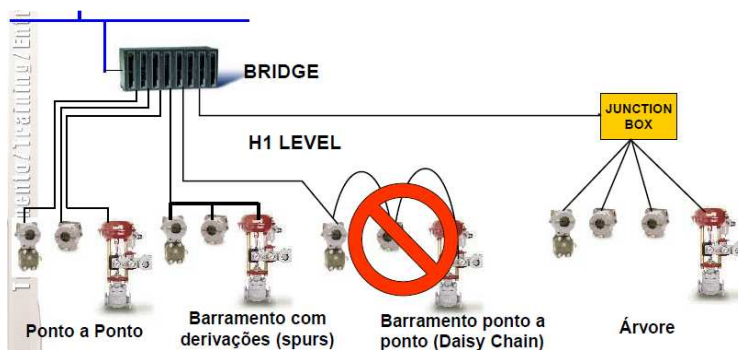


Figura 17 – Topologias Fieldbus (extraído de [13]).

## B.1.2 Camada de Comunicação

A camada de aplicação, também chamada de *Communication Stack* é composta pelas camadas de enlace (*Data Link Layer*) referente à camada 2 do modelo OSI e de aplicação (*Application Layer*) referente à camada 7 do modelo OSI, apresentadas a seguir [7].

### B.1.2.1 Camada de Enlace (*Data Link Layer*)

A camada de enlace é responsável pelo controle das mensagens que circulam na rede, gerenciando o acesso ao meio dos dispositivos através de um escalonador determinístico chamado LAS (*Link Active Scheduler*) que controla a comunicação no barramento [7] [8].

Três tipos de dispositivos são definidos na camada de enlace, o *Basic Device*, o *Link Master Device (LM)* e as *bridges*. Os *Link Masters Device* são capazes de se tornar um LAS em um dado instante e controlar o tráfego de dados em sua rede. Cada rede pode possuir diversos *Link Masters*, porém apenas um por vez, assim, um LAS torna-

se reserva do outro. Isso assegura o funcionamento da rede caso o LAS primário falhe, por isso é importante que em cada segmento FF haja pelo menos dois *Link Masters* (redundância de mestre) [5] [7].

O LM tenta obter o direito de tornar-se LAS durante a iniciação ou quando reconhece uma falha do LAS existente. O procedimento de disputa seleciona o dispositivo LM com o menor endereço de nó para ser LAS. Quando o LAS original voltar a ficar ativo, ele notifica o LAS que o substituiu e esse passa o controle para o antigo LAS [5].

Os equipamentos do tipo *Basic* não são capazes de se tornarem LAS e em geral são equipamentos mais simples, com o direito de apenas transmitir dados no barramento [5].

As pontes ou *bridges* são utilizadas para conectar *fieldbuses* individuais a fim de formar uma rede maior. As pontes são sempre *Link Masters* [5].

Existem várias sincronizações a serem realizadas na rede H1, tais atividades são funções do LAS. Duas das sincronizações são descritas abaixo [8].

- **Sincronização de tempo (TD):** Cada instrumento na rede é um computador que possui seu próprio relógio que, com o tempo, podem apresentar um erro de fase (*drift error*). Como a comunicação deve ser determinística com precisão de 1ms, os relógios devem ser sincronizados periodicamente. Assim o LAS envia no barramento uma mensagem denominada TD (*time distribution*) periodicamente para que haja sincronização de tempo de todos os instrumentos [8].
- **Identificação dos dispositivos (PN):** Uma mensagem especial denominada PN (*Probe Node*) é utilizada para identificar novos dispositivos na rede. Esta é uma importante atividade que torna possível a conexão *plug and play* de instrumentos à rede, sem que haja qualquer interferência ou paralisação. Para isso, o LAS mantém uma lista com todos os endereços de dispositivos ativos no barramento, esta lista é chamada de Lista Viva (*live list*).

O LM envia mensagens PN periodicamente para os dispositivos que estão na *live list*. Se um dispositivo está presente no endereço, ele responde com a mensagem PR (*Probe Response*), então, o LAS inclui o dispositivo à *live list* e confirma a ativação do dispositivo através da mensagem *Node Activation*. O



dispositivo pode ser identificado pelo seu número de série, TAG (nome definido pelo usuário) ou *Device Adress* (seu endereço na rede).

Além destas, o LAS controla o tempo das transmissões de dados no barramento, que podem ser transmissões escalonadas e não escalonadas. Tarefas com tempo crítico, como o controle de variáveis de processo são exclusivamente executadas por serviços escalonados. Já os serviços não escalonados são utilizados para parametrizações e funções de diagnóstico do sistema (manutenção, supervisão, alarmes e configuração) [7].

- **Transmissão de Dados Escalonados**

Para resolver tarefas de comunicação no tempo correto e sem conflitos de acessos, todas as tarefas de tempo crítico são baseadas em uma rigorosa transmissão escalonada [7].

O LAS possui uma lista de tempo de transmissões para todos os dados armazenados em todos os dispositivos que precisam ser ciclicamente transmitidos. Quando é o momento de um instrumento enviar um dado, o LAS emite uma mensagem chamada de *Compel Data* (CD) para o dispositivo. No recebimento do CD o instrumento publica (*broadcast*) os dados para toda a rede. Os dispositivos interessados no dado irão recebê-lo. Esse método é conhecido como *publisher-subscriber* ou produtor-consumidor [7].

Um exemplo deste método é ilustrado na Figura 18. Se um dispositivo possui um dado para publicar, o LAS, seguindo uma lista ordenada, envia o *Compel Data* para o mesmo. Após recebido o CD, o dispositivo (produtor) publica seu dado na rede. Todos os dispositivos (consumidores) que estiverem configurados para receber tais dados, os lêem e utilizam-no de acordo com suas necessidades [7].

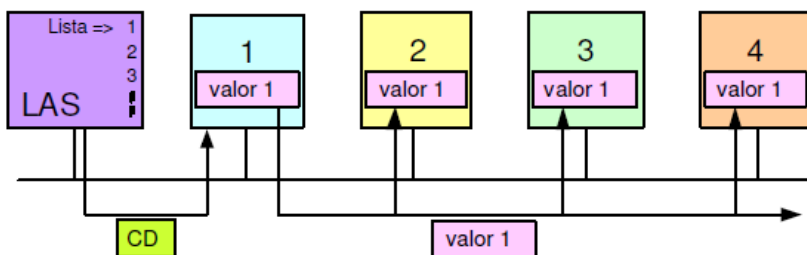


Figura 18 – Transmissão de dados escalonados (extraído de [7]).

A atividade de mais alta prioridade executada pelo LAS é o escalonamento das mensagens tipo CD. Essa atividade é a mais prioritária, pois as aplicações de controle dependem da comunicação escalonada e essas mensagens são críticas no tempo (*hard real time*). As outras atividades serão executadas entre as transmissões escalonadas [5].

- **Transmissão de Dados Não Escalonados**

Todos os dispositivos do barramento têm a chance de transmitir informações não escalonadas entre os ciclos de transmissão de mensagens cíclicas (escalonadas) [8].

O LAS garante uma permissão para um dispositivo usar o barramento emitindo uma mensagem do tipo PT (*Pass Token*) para o dispositivo, como ilustra a Figura 19. Quando o dispositivo recebe o token ele tem o direito de usar o barramento até terminar sua transmissão ou até o tempo máximo que se pode utilizar o *token* [8].

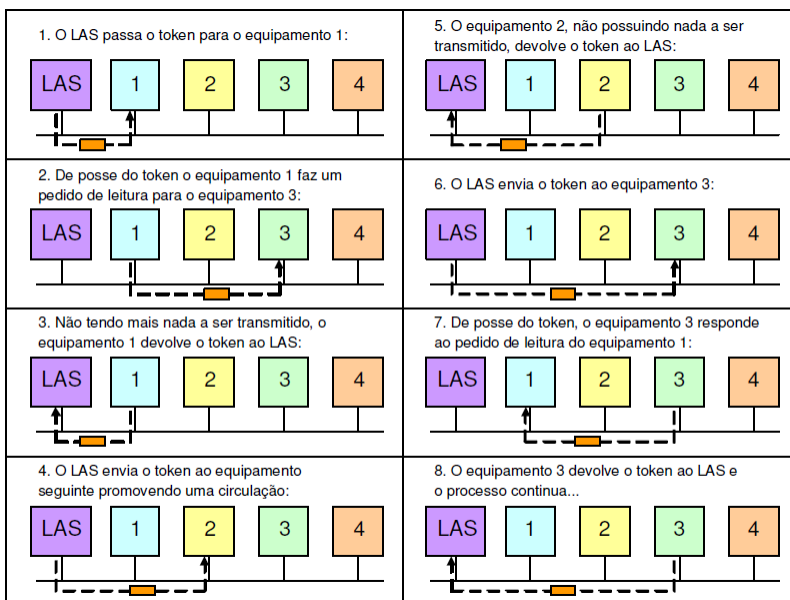


Figura 19 – Transmissão de dados não escalonados – Mecanismo de circulação do *token* (extraído de [7]).

O período escalonado em que o sistema está transmitindo dados cíclicos também é conhecido como *foreground*. E o período não

escalonado que o sistema utiliza para transmitir dados acíclicos, utilizados para a manutenção, supervisão, configuração e alarmes também é chamado de *background*. A soma destes dois períodos, que são constantes, forma o macrociclo (*macrocycle*) [7].

O macrociclo é um fator importante em sistemas FF, pois diz respeito ao tempo utilizado para que todos os dispositivos da linha possam publicar os parâmetros de controle e fazer a monitoração do sistema. Desta forma, esse tempo deve ser minimizado tanto quanto possível para evitar que este não ultrapasse o tempo crítico do processo e não comprometa sua dinâmica. O período de amostragem de um sistema de controle deve ser obrigatoriamente igual ou maior que o macrociclo [7].

A Figura 20 ilustra as transmissões escalonadas (*foreground*), não escalonadas (*background*) e o macrociclo total [7].

1. No tempo zero iniciam-se as tarefas não escalonadas com os sensores 1 e 2 fazendo suas medidas.
2. No instante 20 iniciam-se as transmissões escalonadas. O LAS autoriza o sensor 1 a enviar sua medida para o barramento no qual é lida pelo PID da válvula de controle 3.
3. No instante 30 o LAS autoriza o sensor 2 a enviar sua medida para o barramento no qual é lida pelo PID da válvula de controle 4.
4. No instante 40 ambas as válvulas calculam a saída de controle.
5. No instante 57 a válvula de controle 4 inicia seu posicionamento.
6. No instante 62 a válvula de controle 3 inicia seu posicionamento.
7. No instante 140 inicia-se a repetição da sequencia anterior. [7]

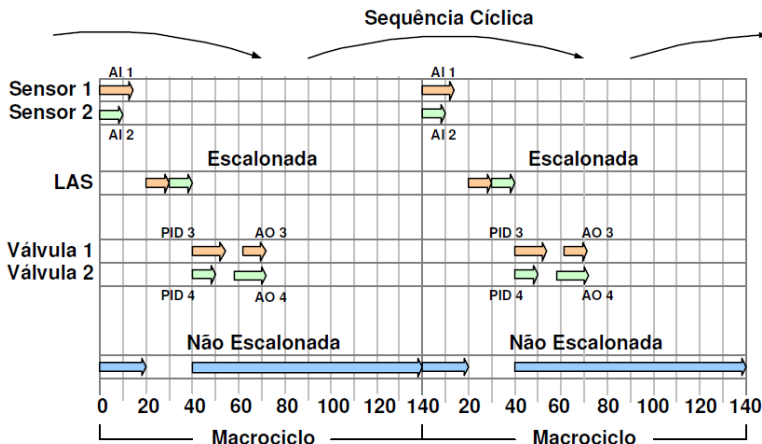


Figura 20 – Transmissão escalonada, não escalonada e macrociclo (extraído de [7]).

Durante a execução dos chamados blocos funcionais (AI, AO e PID), o LAS continua enviando o *token* para todos os dispositivos para que esses possam enviar suas mensagens não escalonadas [7].

Tal como com qualquer rede, quanto mais informações transmitidas num certo espaço de tempo, mais rápido a rede e todos os seus componentes deverão operar para acompanhar o fluxo dessas informações. No entanto, o *Fieldbus* H1 é restrito a uma taxa de 31,25Kbps, dessa forma, a única maneira de transmitir informações adicionais é aumentar o tempo do ciclo [9].

O tempo do macrociclo pode ser determinado pela somatória dos tempos individuais de execução dos Blocos de Função mais o tempo de publicação na rede (*Compel Data* ou publicação do produtor) [9].

A tecnologia FOUNDATION *Fieldbus* permite que a função de controle seja alocada em 3 opções: no *Host (bridge)*, no transmissor de campo ou no posicionador de válvulas do campo, todavia, esta escolha deve ser cautelosa, já que interfere no macrociclo [9].

Sempre que há troca de dados entre blocos funcionais de diferentes dispositivos, o comando *Compel Data* (CD) é enviado pelo LAS, o que acaba por aumentar o macrociclo. O que não acontece quando as trocas de dados entre blocos funcionais são realizadas dentro do mesmo instrumento [9].

A figura 21 mostra duas possíveis configurações de controle em campo. À esquerda o controle PID é realizado no posicionador de

válvulas, possuindo assim, uma única transmissão externa de dados. Já à direita, o controle PID é realizado no transmissor, possuindo 2 transmissões de dados externas, fazendo com que o LAS gere dois comandos CD neste caso.

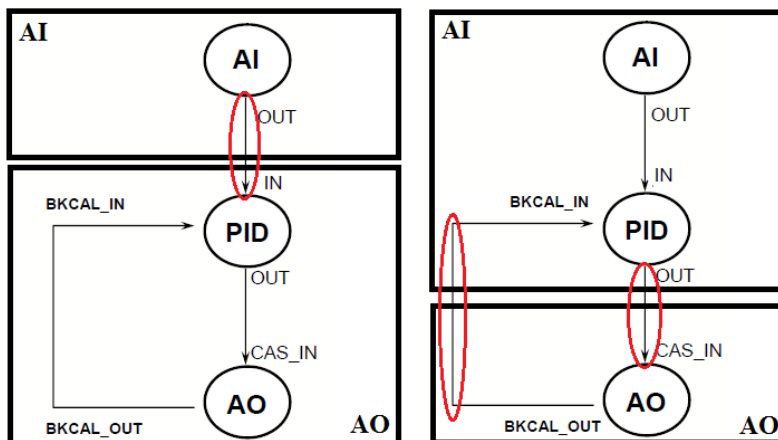


Figura 21 – Controle realizado pelo transmissor e pelo posicionador de válvulas (extraído de [8]).

Em grande parte dos casos o fator limitante em um projeto *fieldbus* está no número de mensagens que podem ser enviadas durante um único macrociclo já que esta informação interfere na distribuição dos instrumentos nas redes H1 [9].

#### 2.1.2.2 Camada de Aplicação (*Application Layer*)

Basicamente esta camada define como ler, escrever ou disparar uma tarefa em um dispositivo. A principal tarefa é a definição de uma sintaxe para os dados. Tem também a função de definir o modo pelo qual o dado deve ser transmitido: ciclicamente, imediatamente, somente uma vez ou quando requisitado [7].

A camada *Fieldbus Access Sublayer* (FAS) e a camada *Fieldbus Message Specification* (FMS), compõem a camada de aplicação e formam a interface entre a camada de enlace e a camada de usuário. Os serviços das camadas FAS e FMS são invisíveis para o usuário, mas a performance e funcionalidade do sistema de comunicação dependem consideravelmente das mesmas [7].

- ***Fieldbus Access Sublayer (FAS)***

Os serviços da camada FAS utilizam as características de escalonamento e não escalonamento da camada de enlace para criar os chamados *Virtual Communication Relationships* (VCR), que são usados pela camada FMS para executar suas tarefas [7].

Quando uma mensagem é transferida, ela desce através do canal *Virtual Communication Relationships* (VCR) para um *Physical Device* (PD). Quando ela chega ao seu destino, ela sobe através do VCR até a aplicação que deve recebê-lo [9].

Os VCRs descrevem diferentes tipos de processos de comunicação permitindo que as atividades possam ser processadas mais rapidamente. O FF utiliza três diferentes VCR descritos a seguir e ilustrado na figura 22 [7].

**Produtor-Consumidor (*Publisher-Subscriber*):** Este tipo de VCR é utilizado para transmitir dados entre os blocos de funções. Suporta comunicação *broadcast* unidirecional, permite a transferência de dados escalonados e “bufferizados” e é usado pelos dispositivos para publicar dados cíclicos dos blocos funcionais. Neste VCR apenas a última versão dos dados é mantida dentro da rede, novos dados sobrescrevem completamente os dados anteriores [5] [9].

**Cliente-Servidor (*Client-Server*):** É aplicado em comunicações ponto a ponto bidirecional, não escalonadas, iniciada pelo usuário, utilizando o *token*. Se um dispositivo (cliente) solicita um dado de outro dispositivo (servidor), este responde somente quando recebe o *token* do LAS. A comunicação cliente-servidor é utilizada para mudanças de referências (*set-points*), sintonia de malhas e parâmetros, diagnósticos, *download* e *upload* de instrumentos e reconhecimento de alarmes [7] [9].

**Distribuição de Relatório (*Report Distribution or Source and Sink*):** A transmissão de dados é não escalonada, iniciada pelo usuário, um para muitos, utilizando o *token*. Quando um dispositivo, necessitando enviar alarmes ou outros eventos de notificação, recebe o *token*, esse transmite os dados para um grupo de dispositivos interessados em recebê-los [7].

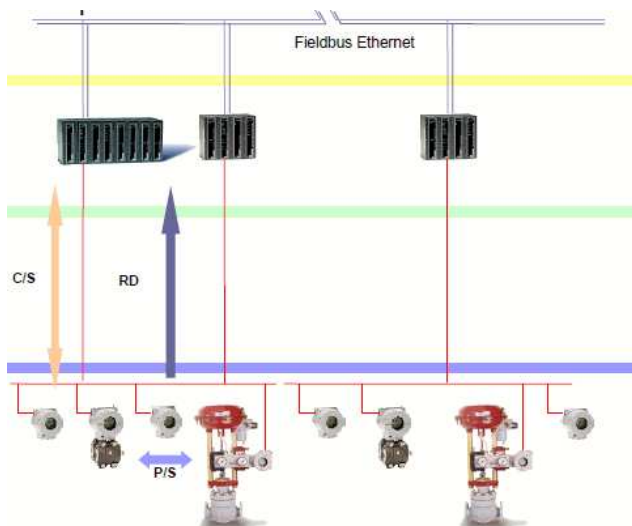


Figura 22 – Tipos de VCR (extraído de [42]).

- ***Fieldbus Message Specification (FMS)***

O serviço da FMS é responsável pela padronização dos formatos das mensagens enviadas pela rede através das aplicações de usuário. O FMS descreve os serviços de comunicação, os formatos das mensagens e os procedimentos de protocolo necessários para construir mensagens para a camada de usuário. Para isso são utilizadas diversas descrições dos formatos das mensagens chamadas de *Object Descriptions*, que juntas formam o chamado *Object Dictionary (OD)*. O site da *Fieldbus FOUNDATION* mantém a mais recente versão de todos estes arquivos para cada instrumento certificado [7] [9].

Para que as *device descriptions* se tornem disponíveis para toda a rede são utilizados os chamados *Virtual Field Devices (VFD)*, que é o modelo abstrato das descrições dos dados do dispositivo. Com os VFDs e as *device descriptions*, é possível acessar remotamente os dados de qualquer dispositivo da rede utilizando os serviços de comunicação [7].

Os serviços de comunicação fornecem um modo padronizado para as aplicações do usuário, como por exemplo, para blocos funcionais se comunicarem sobre o barramento [5].

### 2.1.3 Camada de Usuário (*User Application*)

A Aplicação do Usuário ou Camada do Usuário foi definida pela *Fieldbus* Foundation. É nesta camada onde realmente a funcionalidade do equipamento FOUNDATION *Fieldbus* e suas ferramentas ganham significativamente seus espaços. É o nível onde transmissores, posicionadores, atuadores, conversores e hosts, fazem a interface com o usuário. Pontos fundamentais do FOUNDATION *Fieldbus* são a interoperabilidade e a intercambiabilidade entre os fabricantes e seus dispositivos, o que é possível com especificações abertas e que definam de maneira uniforme equipamentos e interfaces padronizadas [6].

Para que isso seja possível são necessárias interfaces para que os dispositivos e os programas de aplicação possam acessar as funções e os parâmetros de outros dispositivos presentes na rede. O FOUNDATION *Fieldbus* é baseado em blocos e nas descrições do dispositivo, tais descrições são chamadas *Device Descriptions* (DD) [7].

Os blocos são representações de diferentes tipos de funções de aplicação. Três tipos de blocos são obrigatórios a todos os equipamentos e são usados na camada de usuário: [7]

**Bloco de Recurso (*Resource Block*):** descreve as características do equipamento de campo, tais como, nome do equipamento, fabricante, número serial, versões de *hardware* e *software*. Há somente um bloco de recurso para cada equipamento [6] [5].

**Bloco Transdutor (*Transducer Block*):** conectam os blocos funcionais ao mundo externo, habilitando seus parâmetros de entrada necessários para a leitura dos sensores e parâmetros de saída, necessários para comando do *hardware*. Estes blocos são usados para calibrações dos sensores, diagnóstico, faixas de operação, posicionamentos e características de linearização, entre outros. Há somente um bloco transdutor para cada equipamento [7] [6].

**Bloco Funcional:** A quantidade de blocos funcionais existente em um equipamento depende do fabricante. Estes blocos executam tarefas necessárias às aplicações, como por exemplo, aquisição de dados (blocos AI e DI), controle PID, cálculos matemáticos (bloco aritmético), de atuação (blocos AO e DO), entre outros. Cada bloco tem uma tarefa associada às suas entradas e/ou saídas [6].



Existem três classes de Blocos de Função: [5]

1. Bloco-Padrão: Especificado pela *Fieldbus Foundation*;
2. Bloco Adicional: Possui parâmetros e algoritmos adicionais, porém ainda é totalmente definido pelas especificações da *Fieldbus Foundation*;
3. Bloco Estendido: É específico do fornecedor, com parâmetros individuais que não são definidos pela *Fieldbus Foundation* e nem pelo arquivo DD do instrumento. Todavia, devem conter os parâmetros de bloco-padrão para que garanta a interoperabilidade e a certificação *Fieldbus Foundation*.

A *Fieldbus Foundation* definiu um conjunto básico de blocos funcionais padronizados para controle convencional. Esse conjunto básico é formado por 21 blocos tais como entrada analógica (AI), saída analógica (AO), seletor de controle (SEL), entrada discreta (DI), saída discreta (DO), manual *leader*, bloco de controle (PID). Mais 19 blocos funcionais para controle avançado foram padronizados [5].

Além dos blocos funcionais padronizados, podem-se desenvolver blocos funcionais personalizados pelo usuário, de tal forma de sejam carregados nos dispositivos *fieldbus* [5]. Este é o Bloco de Função Totalmente Flexível (FFB) que pode ser configurado pelo usuário final com qualquer das linguagens do IEC 61131-1 para toda e qualquer função requerida. [9].

Infelizmente, as interfaces de programação do FFB ainda não são totalmente interoperáveis. Isto significa que um FFB do fabricante A deve ser programado e configurado pelo Host e pelas ferramentas do fabricante A. Porém, uma vez que o FFB tenha sido preparado e compilado através dos serviços DD, ele pode ser executado por qualquer sistema que de suporte ao tipo de bloco FFB [9].

Entre os blocos, são criados os chamados *Link Objects*, com a função de unir dois blocos funcionais localizados no mesmo dispositivo (ligação interna) ou unir dois blocos funcionais localizados em diferentes dispositivos (ligação externa). A figura 23 mostra um controle simples utilizando os blocos funcionais e *links objects* internos e externos [6] [5].

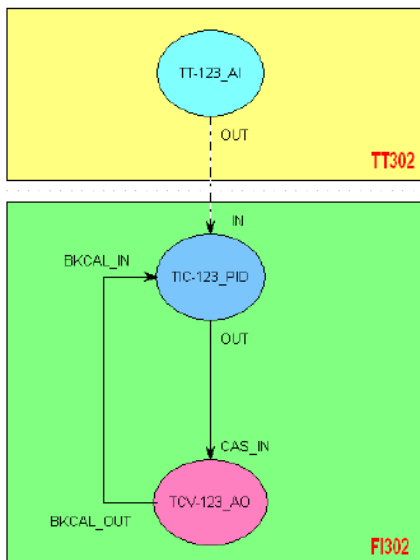


Figura 23 – Configuração de malha de controle utilizando blocos funcionais (extraído de [43]).

A figura 23 ilustra os blocos AI, PID e AO, juntamente com seus respectivos TAGs. O *Link Object* tracejado indica uma ligação externa entre os blocos AI e PID. Já o que o *Link Object* retilíneo uma ligação interna, ou seja, neste caso os blocos PID e AO estão localizados no mesmo dispositivo (posicionador de válvulas) e bloco AI está localizado em outro dispositivo (transmissor de temperatura) [6].

Durante a execução das funções de diagnóstico, comissionamento, start-up e manutenção da planta, uma tecnologia de comunicação aberta deve assegurar que o sistema de controle possa acessar todas as informações de todos os dispositivos de campo e ainda ter o controle total dos mesmos. A *Device Description* (DD) contém todas as informações que garantem estes requisitos. Ela contém informações necessárias para compreender a informação que vem do equipamento e para mostrá-la convenientemente ao usuário. É escrita usando-se a linguagem DDL (*Device Description Language*), muito próxima da linguagem C, para gerar um arquivo texto que ao ser convertido pelo Tokenizer (Ferramenta de geração de DDs) possa ser distribuída com os equipamentos [6].

As DDs de todos os equipamentos envolvidos na rede devem estar disponíveis para a ferramenta de configuração que determinará

como as informações, segundo as estratégias de controle, serão conectadas através das entradas e saídas dos blocos funcionais através dos *link objects*. Esta tarefa é facilmente executada com as interfaces gráficas de ferramentas avançadas de configuração [6].

## 2.2 REDES FOUNDATION *FIELDBUS* HSE

A HSE é um padrão de rede de alta velocidade conhecida como *Fast Ethernet* que opera a 100Mbps. Esta é uma extensão da norma IEEE 802.3 que trata da rede Ethernet, cuja taxa de transmissão é de 10Mbps.

As redes Ethernet são as mais utilizadas no mundo e no meio industrial tem sido cada vez mais utilizada, principalmente nos níveis hierárquicos mais altos da pirâmide, onde se encontram os níveis de supervisão e gerência em que há uma maior quantidade de fluxo de dados entre os computadores, além disso, trata-se de uma rede de baixo custo de instalação e manutenção e ainda, pode se tornar determinística através da utilização de *switches* inteligentes [3].

As redes de alta velocidade na indústria são fundamentais para o aumento da produção e da qualidade, pois facilitam o monitoramento da planta do processo, detectando e corrigindo mais facilmente defeitos, realizando intertravamento automático em tempo real, além de permitir um gerenciamento e planejamento eficiente da produção [3].

Comparando-se a Rede FOUNDATION *Fieldbus* H1 e HSE notam-se inúmeras diferenças, e por isso, é possível explorá-las para que trabalhem de forma conjunta a fim de se adaptarem da melhor forma possível às necessidades da aplicação aproveitando as melhores características de cada uma [3]. Para tanto, utilizam-se *bridges* que possuam portas de comunicação H1 e HSE, assim é possível fazer a ponte entre as duas redes, assim como acontece com a DF63 utilizada neste projeto.

### 3 INSTRUMENTAÇÃO E PROJETO DE CONTROLADORES

#### 3.1 INSTRUMENTAÇÃO DA UNIDADE EXPERIMENTAL

Nos processos industriais se utilizam instrumentos de medição para monitorar e controlar variáveis tais como nível, vazão, pressão, temperatura, pH, entre outras. A instrumentação de campo (transmissores e atuadores) pode operar com saídas analógicas tipicamente em corrente (4-20 mA) ou em tensão (0-10V), ou ainda, com comunicação digital utilizando diferentes padrões como Hart, Profibus ou FOUNDATION *Fieldbus*, sendo os mais utilizados em ambientes industriais.

Através desta instrumentação e dos controladores é possível manter constante as variáveis do processo em valores pré-definidos (referências ou *setpoints*) buscando assim a melhoria do produto, o aumento da produção, maior segurança e maior cuidado com o meio ambiente [41].

A planta de escoamentos multifásicos utiliza 14 instrumentos com a tecnologia FOUNDATION *Fieldbus*. Dentre estes, 8 são do fabricante Smar, linha *System 302*, os demais de fabricação Emerson, sendo 2 medidores de vazão da linha *Rosemount* e 4 posicionadores de válvulas da linha *Fisher*.

Além destes, a planta piloto possui também 7 chaves de nível da empresa *Incontrol*, 2 válvulas solenóides do Fabricante *Festo*, 2 inversores de frequência da *Weg* para controle das bombas rotativas de deslocamento positivo e 2 botões de emergência. Todos estes equipamentos de campo estão ligados fisicamente à *bridge* DFI302 da Smar ou ao CLP Smar. Toda a arquitetura da rede será tratada de forma detalhada.

O princípio de funcionamento dos instrumentos de campo utilizados no LEEM já são bem difundidos e consagrados, podendo ser encontradas em várias teses, dissertações, artigos técnicos e livros de instrumentação e automação industrial, por isso, as descrições teóricas e seus princípios de funcionamento serão apresentados no Apêndice A.

#### 3.2 PROJETO DAS MALHAS DE CONTROLE DA UEEM

Nesta seção são abordados os seguintes pontos: (i) identificação e modelagem dos processos existentes na UEEM; (ii) avaliação do desempenho dos controladores na prática e (iii) inicialização da planta (*start-up*). Não é objetivo do trabalho o aprofundamento no projeto dos

controladores, sugerindo este como um possível trabalho futuro. No entanto, é objetivo manter as malhas de controle em uma faixa de segurança aceitável para a operação da unidade.

Identificar um sistema consiste em determinar um modelo matemático. Devido à sua simplicidade e praticidade o teste de resposta ao degrau é muito utilizado nas indústrias, por este motivo, este método foi escolhido, buscando aproximar ao máximo a UDEM de uma planta industrial real. Para identificação do sistema e projeto dos controladores, optou-se pelo escoamento água-ar em todos os casos.

A planta piloto é composta de três malhas de controle principais que determinam a operação de toda a planta:

1. Malha de controle de nível no tanque T-1;
2. Malha de controle de pressão no tanque T-1.
3. Controle de nível da interface água-óleo no tanque T-2;

As duas primeiras malhas de controle que atuam no tanque T-1 são acopladas, apesar dos controles de nível e pressão serem implementados de forma individual, a resposta de um acaba influenciando no outro, já que ambos estão presentes no mesmo tanque.

Dessa forma, com o aumento do nível, a pressão interna naturalmente aumenta, atuando-se na válvula de saída de pressão, assim como, caso a pressão interna aumente, o nível naturalmente diminui atuando-se na válvula de saída de água (Figura 24).

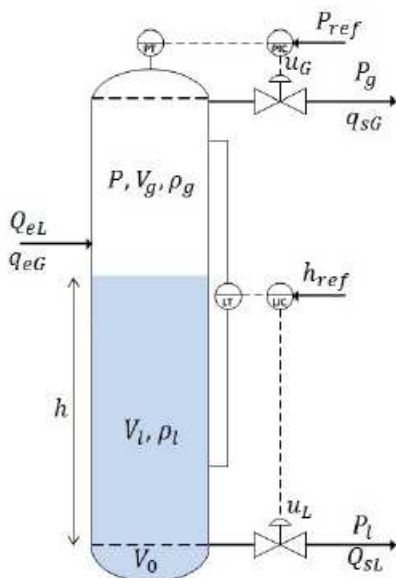


Figura 24 – Estratégia para o controle de nível e pressão do Tanque T-1 (extraído de [18]).

Para aplicação do método de identificação do sistema escolheu-se os seguintes pontos de operação para a planta:

- Nível do tanque T-1: 50%
- Pressão do tanque T-1: 0,5 bar
- Rotação da bomba de água: 70% ( $9\text{m}^3/\text{h}$ )
- Nível Interface água-óleo: 60%

Vale lembrar que estes pontos foram escolhidos de forma que a identificação pudesse ser realizada, no entanto, é aceitável que os controladores trabalhem em uma faixa de operação, apresentando um erro de regime permanente em torno da referência (*setpoint*) previamente definida.

Ademais, tais valores foram escolhidos por tratarem de pontos de operação característicos e normalmente utilizados da planta e, portanto, dentro dos valores limites de segurança.

### 3.2.1 Controle de Nível do Tanque T-1

#### 3.2.1.1 Identificação do Sistema

Partindo-se dos pontos de operação citados a cima, colocou-se o controle de nível em modo manual, objetivando-se que este trabalhasse em malha aberta, aguardou-se primeiramente que a planta estivesse estável e aplicou-se um degrau de cerca de 2%, variando-se a abertura da válvula de 37,2 para 36,2%, aguardou-se até que a planta se estabilizasse novamente com esta nova abertura da válvula. Assim foi possível medir a PV inicial, PV final, MV inicial, MV final, o atraso de transporte e o tempo de resposta da PV, possibilitando-se obter um modelo matemático do processo.

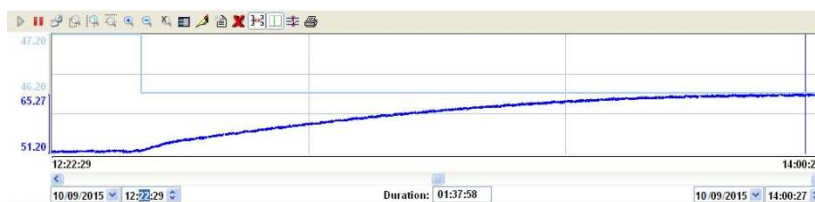


Figura 25– Resposta ao degrau em malha aberta do controle de nível do tanque T-1 (obtido do *software* Indusoft Web Studio).

O ensaio para identificação do nível do tanque durou cerca de 1 hora e 38 minutos. A partir do gráfico obteve-se:

PV inicial = 51,6%

PV final = 65%

MV inicial = 47,2%

MV final: 46,2%

Atraso de Transporte: Praticamente Nulo

Nota-se que a resposta do sistema de controle de nível em malha aberta trata de uma resposta amortecida sem sobressinal em regime transitório. Esta resposta caracteriza uma planta de primeira ordem. Durante os testes observou-se que o controle de nível é bastante lento, demorando cerca de 1 hora e 30 minutos para se estabilizar à ação de um pequeno degrau.

A função de transferência que descreve um sistema de primeira ordem com atraso de transporte é dada por

$$G(s) = \frac{K_c \cdot e^{-\theta s}}{Ts+1} \quad (1)$$

onde  $K_c$  é o ganho estático do sistema,  $\theta$  o atraso de transporte e  $T$  o tempo de resposta referente a 63% da variação da saída do sistema. Como praticamente não houve atraso de transporte ( $\theta$ ) a função de transferência de primeira ordem é dada por

$$G(s) = \frac{K_c}{Ts+1} \quad (2)$$

$$\Delta y = PV_{\text{final}} - PV_{\text{inicial}} = 65 - 51,6 = 13,4 \quad (3)$$

$$\Delta u = MV_{\text{final}} - MV_{\text{inicial}} = 37,2 - 36,2 = -1 \quad (4)$$

$$K_c = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{13,4}{-1} = -13,4 \quad (5)$$

Para encontrar  $T$  se faz  $0,63 \cdot \Delta y = 8,44 \rightarrow 8,44 + 51,6 = 60,04$

Do gráfico obtido do sistema supervisorio (Figura 25), verificou-se que o sistema atingiu o nível de 60% no tempo de 1833 segundos, portanto

$$T = 1833 \text{ segundos}$$

Substituindo os valores encontrados na forma padrão, tem-se

$$G(s) = \frac{-13,4}{1833s+1} \quad (6)$$

Este é o modelo matemático que representa a planta de controle de nível do tanque T-1. O tempo de acomodação ( $t_{5\%}$ ) para um sistema de primeira ordem é dado por

$$t_{5\%MA} = 3 \cdot Ts \rightarrow 3 \cdot 1833 = 5499 \text{ segundos} \quad (7)$$

Analisando-se do gráfico da figura 25, é possível obter o tempo em malha aberta para o sistema atingir 95% do valor final. Este tempo é de aproximadamente 5499 segundos ou 1 hora e 31 minutos.



### 3.2.1.2 Projeto do Controlador

Os objetivos de controle foram definidos como:

- Erro nulo em regime permanente, o que significa a presença de integrador no controlador;
- Sobressinal Máximo  $M_p \leq 30\%$ ;
- Tempo de acomodação máximo ( $t_{5\%}$ ) 3 vezes mais rápido que o sistema em malha aberta, ou seja, 31 minutos.

O projeto dos controladores foi realizado utilizando o método clássico do Lugar das Raízes. A estrutura do controlador Proporcional+Integral (PI) utilizado pelo sistema Syscon é mostrado na Figura 26 onde  $K_i = \frac{1}{T_i}$ .  $K_c$  é o ganho proporcional adimensional e  $T_i$  é a constante de tempo dada em segundos.

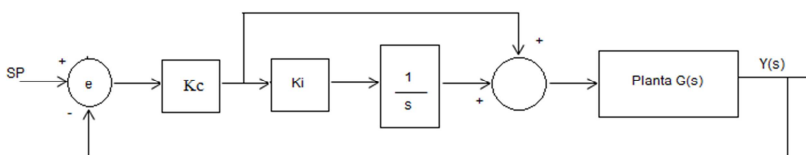


Figura 26 – Diagrama de blocos representando a malha de controle com controlador PI utilizado pela Smar (ver bloco PI na biblioteca de blocos funcionais em [11]).

A função de transferência do controlador é

$$C(s) = K_c \cdot \frac{s+K_i}{s} \quad (8)$$

De acordo com o projeto foram obtidos  $K_c = -1$  e  $T_i = 100$  segundos.

### 3.2.1.3 Implementação e Resultados

Nos parâmetros do controlador PI do Syscon foram colocados os valores acima, aguardou-se o sistema entrar em estabilidade, alterou-se o *setpoint* de 50 para 55% e aguardou-se novamente o sistema em regime permanente. A figura 27, obtida a partir da tela de histórico do *software* de supervisão, mostra a resposta do sistema. De acordo com as informações obtidas do mesmo, tem-se um sobressinal máximo de 40%,

ou seja, maior que o estipulado para o projeto, já o tempo para se atingir o regime permanente foi de aproximadamente 43 minutos, também mais alto que o estipulado.

Apesar de os valores obtidos na prática estarem acima do esperado optou-se por manter tais valores de ajustes para o controlador PI, já que as expectativas do processo foram atendidas para tal faixa de operação.

Ná prática o controle se estabilizou em 55,6, com o *setpoint* em 55, portanto um erro de 1%, o que é aceitável, pois o transmissor de pressão diferencial leva em consideração a densidade do fluido para a medida, e, no caso do fluido existente no tanque de pressão T-1, há água misturada com resíduos de óleo, já que não é possível limpar todo o óleo da tubulação e tanques para que escoe somente água, há um resíduo de óleo considerável no processo.

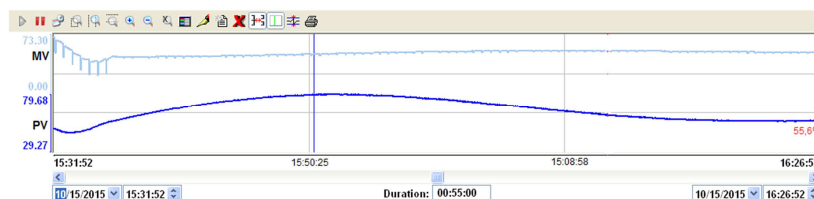


Figura 27 – Resposta ao degrau em malha fechada do controle de nível TCV-1 (obtido do *software* Indusoft Web Studio).

Nota-se da figura 27 que a MV se abria e fechava de maneira muito rápida, o que causaria um possível desgaste mecânico da válvula com o tempo, com o novo valor de ganho proporcional ( $K_p = 1$ ) utilizado, o movimento da válvula tornou-se mais suave, contribuindo para o maior tempo de sua vida útil.

## 3.2.2 Controle de Pressão do Tanque T-1

### 3.2.2.1 Identificação do Sistema

Para o controle de pressão do tanque T-1, utilizou-se o mesmo método descrito acima. Portanto, colocou-se o controle em modo manual e aguardou-se que a planta entrasse em estabilidade, depois se aplicou um degrau de 5%, variando-se a abertura da válvula de 80% para 75%, aguardou-se até que a planta novamente se estabilizasse, nesta nova abertura da válvula. Assim mediu-se a PV inicial, PV final,

MV inicial, MV final, o atraso de transporte e o tempo de resposta do sistema.



Figura 28 – Resposta ao degrau em malha aberta do controle de pressão PCV-1 (obtido do *software* Indusoft Web Studio).

O ensaio para identificação da pressão do tanque foi extremamente mais rápido que o anterior, durando cerca de 2 minutos e meio para atingir a nova estabilidade, mesmo com a abertura da válvula ter sido significativamente maior que do nível. A partir da análise do gráfico gerado pelo *software* supervisor (figura 28) foi possível obter:

PV inicial = 0,49 bar

PV final = 0,66 bar

MV inicial = 80%

MV final: 75%

Atraso de Transporte: Praticamente Nulo

Assim como no primeiro caso, a resposta do controle de pressão em malha aberta trata de uma resposta de primeira ordem, portanto será utilizada a mesma expressão da função de transferência para obter o modelo do sistema. Neste caso, o atraso de transporte também pôde ser desconsiderado.

$$G(s) = \frac{K_c}{Ts+1} \quad (9)$$

$$\Delta y = PV_{\text{final}} - PV_{\text{inicial}} = 0,66 - 0,49 = 0,17 \quad (10)$$

$$\Delta u = MV_{\text{final}} - MV_{\text{inicial}} = 75 - 80 = -5 \quad (11)$$

$$K_c = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{0,17}{-5} = -0,034 \quad (12)$$

Para encontrar  $T$  se faz  $0,63 \cdot \Delta y = 0,11 \rightarrow 0,11 + 0,49 = 0,6$

Do gráfico obtido do sistema supervisorio, verificou-se que o sistema atingiu a pressão de 0,6 bar no tempo de 51 segundos, portanto

$$T = 51 \text{ segundos}$$

Substituindo os valores encontrados na expressão da função de transferência, tem-se

$$G(s) = \frac{-0,034}{51s+1} \quad (13)$$

Este é o modelo matemático que representa a planta de controle de pressão do tanque T-1. O tempo de acomodação ( $t_{5\%}$ ) é dado por

$$t_{5\%MA} = 3 \cdot Ts \rightarrow 3 \cdot 51 = 153 \text{ segundos} \quad (14)$$

O tempo para o sistema em malha aberta atingir 95% do valor final é de aproximadamente 153 segundos.

### 3.2.2.2 Projeto do Controlador

Os objetivos de controle foram definidos como:

- Erro nulo em regime permanente;
- Resposta sem sobressinal ( $\zeta = 1$ );
- Tempo de acomodação ( $t_{5\%}$ ) sendo metade do tempo em malha aberta, ou seja, 77 segundos.

Assim como no controle de nível, utilizou-se método clássico do Lugar das Raízes para obtenção dos parâmetros do controlador. De acordo com o projeto, foram obtidos  $K_p = -57$  e  $T_i = 50$  segundos.

### 3.2.2.3 Implementação e Resultados

Para o controle de pressão foram colocados nos parâmetros de ajustes do controlador PI do Syscon os valores citados acima, aguardou-se que a planta entrasse em regime permanente e alterou-se o *setpoint* de 0.5 para 0.8 bar, obtendo uma resposta muito próxima à esperada, com o tempo de acomodação ( $t_{5\%}$ ) em torno de 77 segundos e um sobressinal

máximo de 1%, atingindo 0.83%. Obteve-se erro nulo em regime permanente, com a pressão se estabilizando em 0.8 bar.

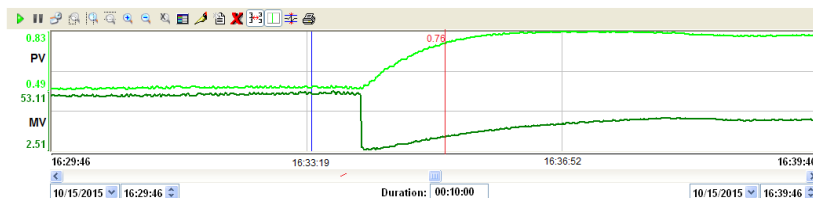


Figura 29 – Resposta ao degrau em malha fechada do controle de pressão PCV-1 (obtido do *software* Indusoft Web Studio).

### 3.3.1 Controle de Interface de Água-Óleo do Tanque T-1

#### 3.2.3.1 Identificação do Sistema

Para o controle de interface água-óleo do tanque T-2, também foi utilizado o mesmo método dos descritos anteriormente, colocando-se o controle em modo manual até que a planta entrasse em regime permanente, depois se aplicou um degrau de 5%, onde se variou a abertura da válvula de 31,5% para 30% e aguardou-se que a planta se estabilizasse para a nova abertura da válvula. Neste intervalo de tempo mediu-se a PV inicial, PV final, MV inicial, MV final, o atraso de transporte e o tempo de resposta da malha de controle de interface.

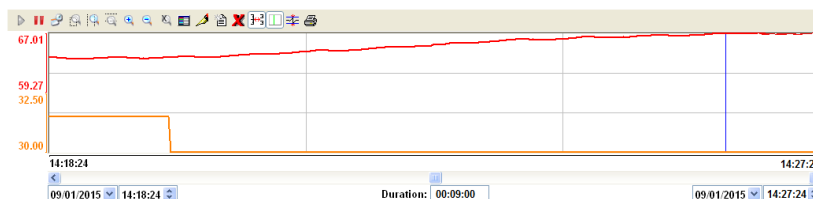


Figura 30 – Resposta ao degrau em malha aberta do controle de interface LCV-2 (obtido do *software* Indusoft Web Studio).

O ensaio para identificação do nível da interface do tanque T-2 durou cerca de 9 minutos e a resposta à perturbação ao degrau foi bastante suave, conforme mostrado na figura 30. A partir da análise do gráfico foi possível obter:

PV inicial = 63,7%

PV final = 66,8%

MV inicial = 31,5%

MV final: 30%

Atraso de Transporte: Praticamente nulo

Assim como nos demais casos, a resposta à perturbação do controle de nível de interface em malha aberta trata de uma resposta de primeira ordem, portanto será utilizada a mesma função de transferência das demais para obter a modelo do processo.

$$G(s) = \frac{K_c}{Ts+1} \quad (15)$$

$$\Delta y = PV_{\text{final}} - PV_{\text{inicial}} = 66,8 - 63,7 = 3,1 \quad (16)$$

$$\Delta u = MV_{\text{final}} - MV_{\text{inicial}} = 30 - 31,5 = -1,5 \quad (17)$$

$$K_c = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{3,1}{-1,5} = -2,067 \quad (18)$$

Para encontrar T se faz  $0,63 \cdot \Delta y = 1,95 \rightarrow 1,95 + 63,7 = 65,65$

Do gráfico obtido do sistema supervisorío (Figura 30), verificou-se que o sistema atingiu o nível de 65,6% no tempo de 153 segundos, portanto

$$T = 153 \text{ segundos}$$

Substituindo os valores encontrados na expressão da função de transferência, tem-se

$$G(s) = \frac{-2,067}{153s+1} \quad (19)$$

Este é o modelo matemático que representa a planta de controle de interface do tanque T-2. O tempo de acomodação ( $t_{5\%}$ ) é dado por

$$t_{5\%MA} = 3 \cdot Ts \rightarrow 3 \cdot 153 = 459 \text{ segundos} \quad (20)$$

O tempo para o sistema atingir 95% do valor final é de aproximadamente 459 segundos.

### 2.2.3.2 Projeto do Controlador

A fim de se projetar um controlador adequado para o sistema de pressão do tanque, foram impostas as seguintes exigências:

- Obter erro nulo em regime permanente;
- Sobressinal Máximo  $M_p \leq 5\%$ ;
- Tempo de acomodação máximo de aproximadamente metade do tempo em malha aberta, ou seja, 230 segundos.

De acordo com o projeto do controlador obteve-se  $K_p = -0.58$  e  $T_i = 100$  segundos.

### 3.3.3 Implementação e Resultados

O controle de Interface apresentava uma oscilação relativamente grande em torno do pronto de operação, como pode ser visto na Figura 31. Alteraram-se os parâmetros  $K_p$  e  $T_i$  do controlador PI para os valores mostrados acima, na sequência foi mudado o *setpoint* de 60 para 65%, o tempo de acomodação foi de aproximadamente 5 minutos, ou seja, cerca de 1 minuto maior que o especificado pelo projeto. O *overshoot* máximo obtido foi de 1%, estando dentro do limite especificado. Obteve-se também erro nulo em regime permanente e a oscilação tornou-se praticamente estável.

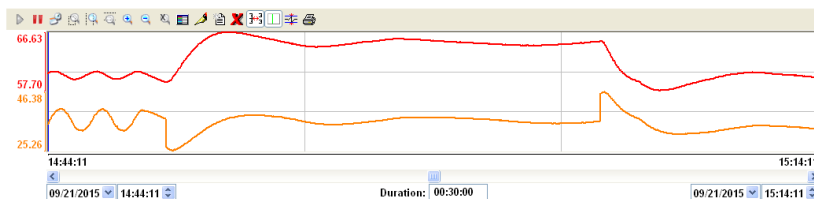


Figura 31 – Resposta ao degrau em malha fechada controle de interface LCV-2 (obtido do *software* Indusoft Web Studio).

Como descrito acima, os controles de nível e pressão do tanque T-1 trabalham de forma conjunta a fim de garantir sua segurança, isto foi comprovado na prática: a planta estava operando com todas as malhas de controle estáveis, quando se alterou o *setpoint* da pressão de 0.5 para 0.8 bar, esta foi uma grande mudança para o tanque o T-1 e acabou por influenciar o controle de nível que estava estável em torno

do ponto de operação. O gráfico abaixo mostra a resposta do nível a esta perturbação.

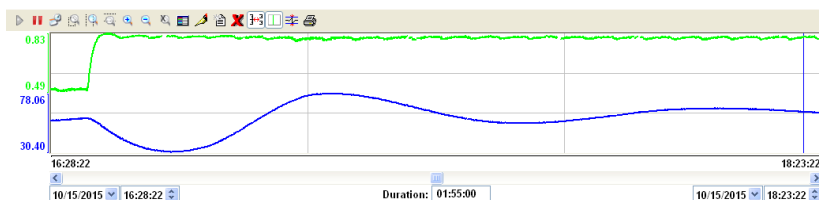


Figura 32 – Rejeição do controle de nível à perturbação da variação de pressão no tanque T-1 (obtido do *software* Indusoft Web Studio).

Analisando-se detalhadamente o gráfico da figura 32, nota-se que a perturbação aplicada foi relativamente grande, sendo vista pelo controle do nível como uma rampa, este não rejeita perturbação à rampa, por isso o nível caiu de 55 para 30%, quando a pressão atingiu o tempo de acomodação, a perturbação passou a ser vista como degrau e a partir daí, o controle de nível começou trabalhar a fim de atingir seu ponto de operação e estabilidade, nota-se que o sobressinal máximo e o tempo de acomodação foram praticamente os mesmos do primeiro ensaio, o que era esperado.



## 4 SISTEMA DE CONTROLE VIA REDE FF

Este capítulo apresenta a metodologia utilizada para o desenvolvimento do projeto e automação da Unidade de Experimentação de Escoamento Multifásico, tornando possível a operação da unidade em modo automático, a medição dos macrociclos das redes e o estudo do sinal de comunicação FF.

### 4.1 ESTUDOS E LEVANTAMENTO DE DADOS DE CAMPO

A primeira necessidade para início do projeto de automação foi o estudo do LEEM para identificação do processo e das principais características físicas da planta, como medidas dos tanques, diâmetros e comprimentos das tubulações. Todos os dados de processo identificados estão descritos no capítulo 1.

Foi necessário também realizar o levantamento de dados de todos os instrumentos já instalados na unidade como transmissores de pressão, temperatura, nível, vazão, posicionadores de válvulas, chaves de nível, inversores de frequência e válvulas pneumáticas.

A tabela 1 mostra a identificação dos instrumentos de campo.

Tag	Descrição	Instrumento	Consumo de Corrente
PT-1	Pressão Tq. T-1	LD-302	12mA
LT-1	Nível Tq. T-1	IF302	12mA
LT-1_1	Nível Tq. T-1	LD-302	12mA
LT-2	Nível Separador T-2	DT-302	12mA
TT-3	Temperatura Linha Ar T-3	TT-302	12mA
PT-3	Pressão Compressor Ar	LD-302	12mA
PT-2	Vazão Linha Ar T-3	LD-302	12mA
FT-4	Vazão Linha Água T-4	8732	**
FT-5	Vazão Linha Ar	8800	**
FT-6	Vazão Linha Óleo T-5	Futuro	Futuro
B-1	Bomba Água	IF302	12mA
B-2	Bomba Óleo	IF302	12mA

PV-1	Válvula Pressão Tanque T-1	Fisher DVC6200	19mA
LV-1	Válvula Nível Tanque T-1	Fisher DVC6200	19mA
LV-2	Válvula Nível Separador T-2	Fisher DVC6200	19mA
FV-3	Válvula Vazão Linha Ar T-3	Fisher DVC6200	19mA
JM-400	Caixa de Junção	Smar JM-400	20mA

Tabela 2 – Tabela de características e identificação dos instrumentos FF.

\*\*Instrumentos com alimentação externa (220Vac).

A tabela 3 mostra os dispositivos convencionais, que não são dotados da tecnologia FOUNDATION *Fieldbus*.

Tag	Descrição	Instrumento	Tensão Alimentação	Tipo
LSL-1	Nível Baixo Tq. Armaz. Água	Chave Nível LC120	24V	DI
LSH-2	Nível Alto Tq. Armaz. Água	Chave Nível LC120	24V	DI
LSL-3	Nível Baixo Tq. Armaz. Óleo	Chave Nível LC120	24V	DI
LSH-4	Nível Alto Tq. Armaz. Óleo	Chave Nível LC120	24V	DI
LSL-5	Nível Baixo Tanque T-1	Chave Nível LC120	24V	DI
LSH-6	Nível Alto Tanque T-1	Chave Nível LC120	24V	DI
LSH-7	Nível Alto Tanque T-2	Chave Nível LC120	24V	DI
SV-9	Entrada Ar T-1	Válvula	220V	DO
SV-10	Saída Água T-2	Válvula	220V	DO

Tabela 3 – Tabela de dados dos instrumentos digitais convencionais.

A partir da obtenção das informações acima e do diagrama P&ID existente, foi possível realizar o projeto das redes FF H1.

## 4.2 PROJETO DAS REDES FOUNDATION *FIELDBUS*

Nesta seção, será mostrado o desenvolvimento para implementação prática das três camadas das redes FF: Camada Física, Comunicação e de Usuário.

### 4.2.1 Camada Física

Para o projeto da camada física da UEEM se analisou inicialmente a distância entre dispositivos de campo (que já estavam instalados) até o painel de controle, onde está localizada a *bridge* FF. Esta distância é importante a fim de se respeitar o tamanho total do cabo que é de 1.900m sem repetidores. Além do comprimento máximo do cabo, foram impostas algumas exigências para o projeto:

- Unir os instrumentos localizados próximos em uma única rede a fim de se diminuir o consumo de cabos;
- Adequar no máximo 8 instrumentos por rede, pensando em futuras expansões;
- Limitar o máximo de 2 malhas de controle por rede objetivando a otimização do macrociclo da mesma;
- Tensão mínima de 9V em cada dispositivo alimentado pela rede FF (exigência padrão FF);
- Realizar controle no campo;
- Utilizar caixas de derivação de campo Smar JM-400, com proteção contra curto circuito limitado em 50mA.

Para se obter o comprimento máximo de tronco da rede e manter a qualidade de transmissão e recebimento do sinal FF na UEEM aplicou-se a equação

$$LT(\max) \leq \frac{((V_{ps} - V_{min}) \cdot 10^6) - (I_d \cdot 2 \cdot R_s \cdot L_s)}{\sum I_d \cdot 2 \cdot R_t} \quad (21)$$

Como as exigências impostas limitam a rede em 8 dispositivos e 2 malhas de controle (máximo de 2 válvulas de controle), tem-se, segundo dados da tabela 3.1:  $\sum I_d = (6 \cdot 12\text{mA}) + (2 \cdot 19\text{mA}) = 110\text{mA}$ .

De acordo com a disposição dos dispositivos na UEEM, considerou-se como pior caso o maior comprimento de um spur ( $L_s$ ),

sendo o instrumento localizado no mezanino da unidade e a caixa de derivação no primeiro piso, então para a fórmula abaixo, foi considerado  $L_s = 5m$ .

$$LT(\max) \leq \frac{((24-9) \cdot 10^6) - (12 \cdot 2 \cdot 44 \cdot 5)}{(110 \cdot 2 \cdot 44)} \leq 1.549m \quad (22)$$

A resolução da fórmula acima mostra que o comprimento máximo do tronco para que se mantenha a qualidade do sinal FF é de 1.549 metros, ou seja, muito maior que os limites físicos da UEEM, portanto, o comprimento do cabo, não deve ser algo a se preocupar.

As redes FF foram projetadas pensando nas exigências impostas com atenção especial à queda de tensão nos dispositivos, visto que este é necessário para funcionamento do instrumento. Utilizou-se como suporte o *software* DesignMate® desenvolvido pela FOUNDATION *Fieldbus* que calcula a queda de tensão e consumo de corrente em cada dispositivo, de acordo com a distância, tipo de cabo, características do dispositivo, acoplador *fieldbus*, caixas de derivação e terminador utilizados. A seguir são mostradas as figuras que ilustram as redes físicas FF, bem como suas distâncias e dispositivos acoplados em cada uma delas.

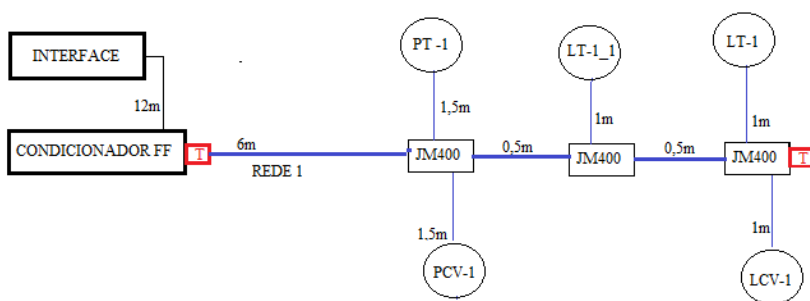


Figura 33 – Projeto da Camada Física da Rede FF 1.

O comprimento total da Rede 1 será:

$$L_{T1} = L_{\text{tronco}} + L_{\text{spurs}} = (6+0,5+0,5) + (1,5+1,5 +1+1+1) = 13m \quad (23)$$

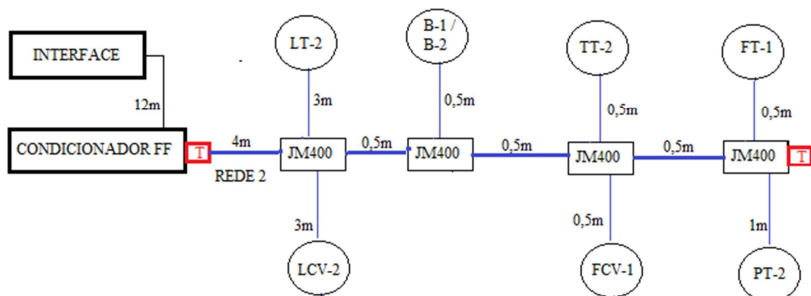


Figura 34 – Projeto da Camada Física da Rede FF 2.

O comprimento total da Rede 2 será:

$$L_{T2} = L_{\text{tronco}} + L_{\text{spurs}} = [(4 + (0,5 \cdot 3) + (3 + 3 + (0,5 \cdot 4) + 1))] = 14,5\text{m} \quad (24)$$

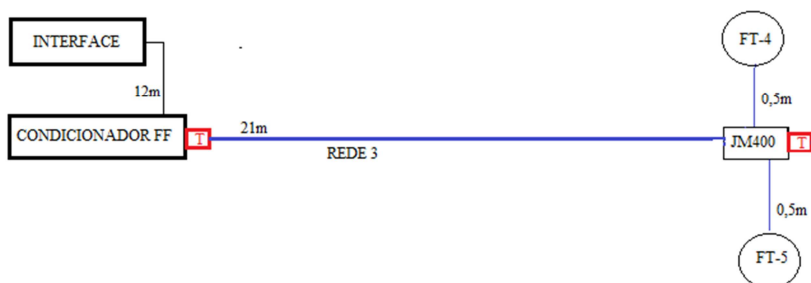


Figura 35 – Projeto da Camada Física da Rede FF 3.

O comprimento total da Rede 3 será:

$$L_{T1} = L_{\text{tronco}} + L_{\text{spurs}} = (21) + (0,5 + 0,5) = 22\text{m} \quad (25)$$

Visando garantir a comunicação entre todos os dispositivos da rede, foram calculadas as quedas de tensão para os piores casos:

- **Cálculo com o cabo mais longo**

No cabo mais longo é onde se encontra a maior distância entre um dispositivo e o condicionador de sinal, portanto a maior queda de tensão e maior atenuação do sinal FF. Neste caso será calculada a queda de tensão no instrumento FT-4, levando-se em consideração o

comprimento e tipo de cabo, o consumo de corrente total na rede e consumo máximo de corrente da caixa de derivação.

- Queda de tensão até caixa de derivação

$$V_c = V_p - \{[\Sigma I_D + I_{HH} + (I_{SC} - I_{dmin}) + I_c] \cdot 0,001 \cdot (L_T \cdot R_T) \cdot 0,001\} \quad (26)$$

Onde:

- $V_c$  = Nível de tensão na caixa de derivação em campo [V].
- $V_p$  = Tensão na saída do acoplador FF [V].
- $V_{min}$  = Maior tensão mínima dentre todos os instrumentos de campo [V].
- $\Sigma I_D$  = Consumo de corrente de cada instrumento [mA].
- $I_{HH}$  = Consumo de corrente típica de configurador manual [mA].
- $I_{sc}$  = Consumo de corrente caixa de derivação na atuação de proteção de curto circuito [mA].
- $I_{dmin}$  = Consumo mínimo de corrente de instrumento [mA].
- $L_T$  = comprimento do tronco [Km].
- $L_s$  = comprimento do spur [Km].
- $R_T$  = Resistência especificada pelo fabricante do cabo do tronco [ $\Omega$  /Km].

$$V_c = 18 - \{[0 + 0 + (50 - 0) + 20] \cdot 0,001 \cdot (0,021 \cdot 44)\} = 17,94V \quad (27)$$

Neste caso a soma das correntes foi igual à zero, pois os instrumentos da rede 4 são alimentados externamente (220Vac).

- Queda de tensão da caixa de derivação até o FT-4

$$V_D = V_C - \{[(I_c + I_D) \cdot 0,001] \cdot (L_S \cdot R_T)\} \quad (28)$$

$$V_D = 17,94 - \{[(20 + 0) \cdot 0,001] \cdot (0,0005 \cdot 44)\} = 17,93V \quad (29)$$

- **Cálculo com a rede com a maior quantidade de dispositivos**

No cabo com maior quantidade de dispositivos é onde há maior consumo de corrente, podendo prejudicar o sinal, caso a corrente disponível na rede seja insuficiente para ser modulada, a fim de o dispositivo recebê-la na tensão correta. Neste caso será considerado um dos instrumentos com o maior consumo de corrente na rede.

- Queda de tensão na caixa de derivação

$$V_c = V_p - \{[\Sigma I_D + I_{HH} + (I_{SC} - I_{dmin}) + I_c] \cdot 0,001 \cdot (L_T \cdot R_T)\} \quad (30)$$

$$V_c = 18 - \{[98 + 0 + (50 - 12) + 20] \cdot 0,001 \cdot (0,0055 \cdot 44)\} = 17,96V \quad (31)$$

- Queda de tensão do spur até o LCV-2

$$V_D = V_C - \{[(I_c + I_D) \cdot 0,001] \cdot (L_S \cdot R_T)\} \quad (32)$$

$$V_D = 17,96 - \{[(20 + 19) \cdot 0,001] \cdot (0,003 \cdot 44)\} = 17,95V \quad (33)$$

Nota-se que em ambos os casos, os segmentos apresentam nível de tensão mais do que suficientes para que os instrumentos funcionem dentro de uma margem de confiabilidade adequada de acordo com a norma IEC 61158.

Depois de se definir a quantidade de canais, disposição dos dispositivos FF e quantidade de I/Os convencionais, definiram-se dois *hardwares* para controle do sistema, um dedicado para os instrumentos *fieldbus* e outro para os convencionais.

## 4.2.2 Definição do Sistema de Controle

### 4.2.2.1 Hardware

Para o módulo do sistema, optou-se pela plataforma DFI302 da Smar, considerando que o Departamento de Automação e Sistemas da UFSC já possuía uma licença do *software* para tal *hardware* (*Bridge + PLC*). Além disso, o sistema DFI302 é consagrado e respeitado na tecnologia FOUNDATION *Fieldbus* atendendo todas as exigências da *Fieldbus* Foundation.

O DFI302 é um equipamento modular e multiprotocolo, montado em *rack*, conectado a um trilho DIN, onde todos os módulos necessários são instalados, incluindo fonte, controlador, módulo de impedância, fonte *fieldbus*, módulos de E/S, entre outros [11]. No LEEM, são utilizadas duas plataformas DFI302, sendo uma para os controles (FOUNDATION *fieldbus*) e outra para o sistema de intertravamento e segurança da unidade (I/Os digitais convencionais).

Um único *software*, chamado SYSTEM302, reconhece qualquer controlador da plataforma DFI302, possuindo internamente blocos funcionais padronizados pela FOUNDATION *Fieldbus* e lógica *ladder*, portanto, este fará a integração de toda planta.

- **Sistema FOUNDATION *Fieldbus* – DF63**

O DFI302, *Fieldbus Universal Bridge*, deve possuir quatro módulos básicos: Fonte Principal (DF50), *Bridge* FF (DF63), fonte de alimentação para FF (DF52) e módulo de impedância (DF53).



Figura 36 – Plataforma DFI302 *Fieldbus*, Smar (extraído de [24]).

A DF63 é uma *bridge* entre 4 redes FOUNDATION *fieldbus* H1 (31,25 Kbps, conforme IEC 61158-2) e 2 canais Ethernet HSE (FOUNDATION HSE, 100 Mbps) [11]. A fonte principal DF50, é responsável por alimentar o rack e os módulos que recebem alimentação DC. Já a fonte FF (DF52), possui proteção contra sobrecorrente e curto-circuito, apropriada para alimentar exclusivamente os 4 canais *fieldbus* que a *Bridge* DF63 possui. Esta fonte possui uma tensão de saída de 24Vdc  $\pm$  1% e corrente de saída de 1,5A (375mA por canal H1) [13].

A DF53 é o módulo de impedância para *fieldbus*, este apresenta uma impedância de saída que, em paralelo com os dois terminadores do barramento requeridos pelo padrão (um resistor de 100 $\Omega$  em série com um capacitor de 1 $\mu$ F), resulta em uma impedância de linha puramente



resistiva, o que isola uma rede H1 de outras e balanceia a impedância entre o positivo e terra e entre o negativo e terra (simetria) [13].

- **Controlador Lógico Programável – DF75**

O módulo DF75 da Smar é um controlador HSE (*High Speed Ethernet*) da plataforma DFI302, com este módulo, é possível associar o controle discreto ao controle contínuo utilizando blocos funcionais FOUNDATION *fieldbus* ou via lógica *ladder* [11].

Dois canais HSE garantem a comunicação entre os equipamentos de campo FOUNDATION *Fieldbus* e níveis mais altos da pirâmide hierárquica da automação industrial, como supervisão e sistemas de gerenciamento.

Esta plataforma DFI é composta pela fonte principal (DF50), o controlador DF75, um módulo com 16 pontos de entrada digital (DF11) para as chaves de nível e um módulo com 16 saídas digitais (DF22) para as válvulas ON/OFF. A figura abaixo mostra o painel de controle montado com a DFI302.

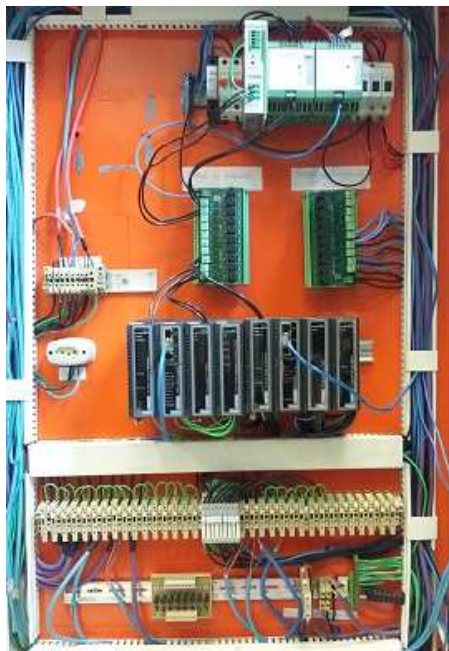


Figura 37 – Plataforma DFI302 Smar montada no painel.

#### 4.2.2.2 Software

O Studio302 é uma ferramenta desenvolvida pela Smar que integra aplicativos de vários protocolos industriais. Neste projeto de automação serão usados os *softwares* Syscon e o Logic View, ambos são partes integrantes da ferramenta Studio302 [14].

O Syscon é uma ferramenta interoperável especialmente desenvolvida para configuração e operação de instrumentos FOUNDATION *Fieldbus* certificados de acordo com a norma IEC 61131-1. Com este *software* é possível criar as redes FF, inserir instrumentos, inserir os blocos funcionais, configurar as estratégias de controle, ajustar parâmetros, calibrar os instrumentos e realizar o *setup* da planta [15].

Já o LogicView é uma ferramenta padrão IEC 61131-3 e a estratégia de controle é realizada com redes lógicas em estilo *ladder*, possibilitando a criação de lógicas de intertravamento para controle de processos [16].

A versão LogicView for FFB é a versão integrada ao Syscon. Para realizar a comunicação entre os dois *softwares* é necessário que estejam conectados à rede de alta velocidade HSE, o que é possível com as portas ethernet existentes nos *hardwares* DF63 (*bridge* FF) e DF75 (controlador HSE) [17].

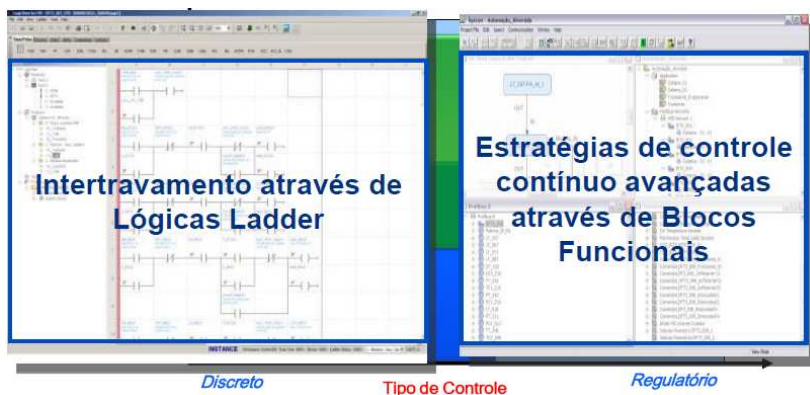


Figura 38 – Implementação de lógicas no Logic View e Syscon (extraída de [17]).

### 4.2.2.3 Definição da Arquitetura do Sistema

Abaixo é mostrada a Arquitetura do sistema e diversas informações da automação da unidade como versões e limites de *softwares*, comunicação da interface com os controladores, distribuições dos dispositivos de campo nas redes e caixas de junção, conexão dos dispositivos convencionais ao controlador DF75 e equipamentos previstos como futuro.

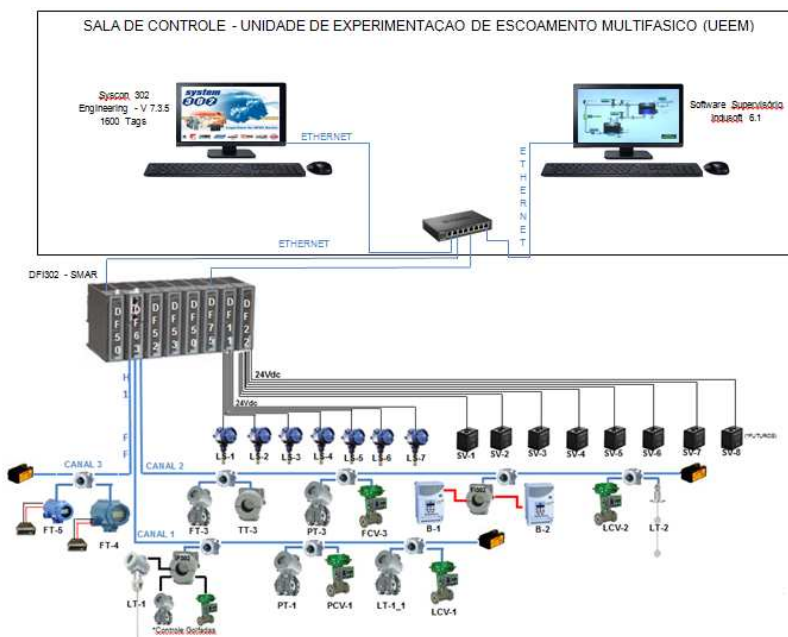


Figura 39 – Arquitetura do Sistema – UEEM (desenvolvida pela autora).

### 4.2.3 Camada de Comunicação

A camada Comunicação é subdividida entre as camadas de enlace e aplicação. A Camada de Enlace é responsável pelo controle das mensagens no barramento e pelo gerenciamento de acesso ao meio, conforme explicado de forma detalhada em Apêndice B. Já a Camada de Aplicação se atenta à definição da sintaxe dos dados e definição de como estes devem ser enviados: de forma cíclica, somente uma vez ou quando requisitado [5].

Utilizando-se o *software* Syscon, primeiramente, foi criada a chamada planta física, onde é estruturada virtualmente a rede HSE, contendo os controladores DF63 e DF75, bem como os dispositivos de campo semelhante à arquitetura do sistema.

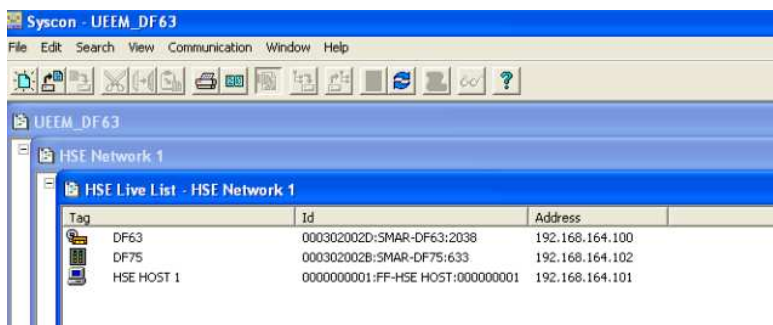


Figura 40 – Inclusão dos controladores à rede HSE.

Assim como na planta real, a *bridge fieldbus* DF63 possui 3 redes H1, cada qual com seus respectivos instrumentos. Foram utilizadas as portas 1, 2 e 4.

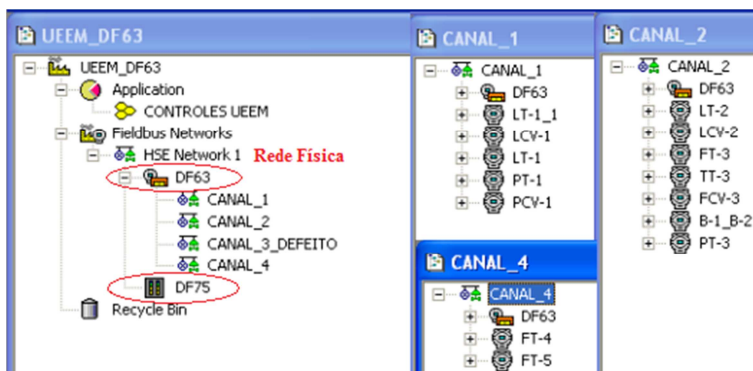


Figura 41 – Redes HSE e redes H1

É durante a criação da rede física que se define quais os dispositivos de campo serão *Link Master* (LM) secundários, caso o mestre da rede (DF63) falhe. É aconselhável definir pelo menos um *Link Master* para cada rede H1, além da *bridge* que já possui este papel. Quando se define apenas um LM este é sinalizado à esquerda do tag,

juntamente com a *bridge*. No caso de o mestre principal falhar o mestre secundário será o que possui menor endereço de nó na rede.

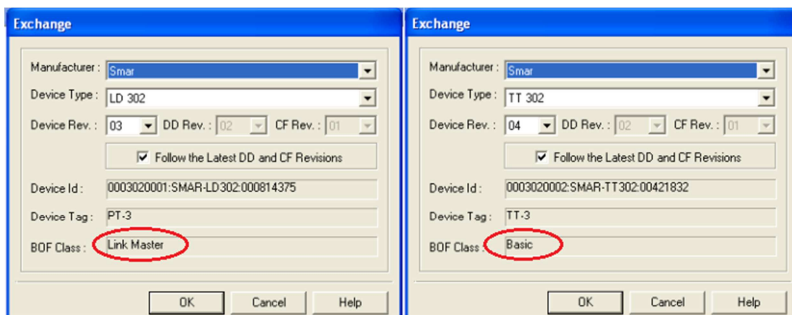


Figura 42 – Dispositivos de campo definidos como Link Master e Basic.

A identificação de cada dispositivo na *live list* se dá de três maneiras: *device name* (ou Tag) escolhido pelo usuário, *device ID* que é o número de série do instrumento definido pelo fabricante e *device address* que é o endereço único do dispositivo na rede (Figura 43) [7].

Tag	Id	Address
LT-2	000302000e:SMAR-DT302:00022409	0x18
LCV-2	0051006000FisherDVC0070209232186	0x19
FT-3	0003020001:SMAR-LD302:00024739	0x1A
TT-3	0003020002:SMAR-TT302:00421832	0x1B
PT-3	0003020001:SMAR-LD302:000814375	0x1C
FCV-3	0051006000FisherDVC0070209350198	0x1D
B-1_B-2	0003020005:SMAR-FI302:0064277	0x1E
DF63	000302002D:SMAR-DF63:2038	0x10

Tag	Id	Address
LT-1_1	0003020001:SMAR-LD302:00024465	0x18
LCV-1	0051006000FisherDVC0070209330682	0x19
LT-1	0003020003:SMAR-IF302:00421388	0x1A
PT-1	0003020001:SMAR-LD302:00024654	0x1B
PCV-1	0051006000FisherDVC0070209362311	0x1C
DF63	000302002D:SMAR-DF63:2038	0x10

Tag	Id	Address
FT-4	0011518732-EPM-RFD0039D522549...	0x18
FT-5	0011518800-EPM-RFD0017612DEA1...	0x19
DF63	000302002D:SMAR-DF63:2038	0x10

Figura 43 – *Live List* das redes H1.

- **Cálculo do Macroциclo**

Em grande parte dos casos o fator limitante em um projeto *fielbus* está no número de mensagens que podem ser enviadas durante um único macroциclo já que esta informação interfere na distribuição dos instrumentos nas redes H1[9]. O tempo do macroциclo, é a soma do período escalonado (*foreground*) com o período não escalonado (*background*,) e este tempo deve ser calculado para cada rede H1, portanto no caso do projeto da UEEM, tem-se 3 cálculos de macroциclos.

Os cálculos apresentados neste sub-ítem poderão ser comparados com os macroциclos reais medidos na planta e apresentados no capítulo 6 (Resultados Experimentais).

A tabela 4 mostra os tempos de execução gastos por cada bloco funcional utilizado. Tais dados foram retirados dos manuais dos fabricantes.

Tag	Descrição	Instrumento	Blocos Funcionais	Tempo FB (ms)
CD	<i>Compel Data</i>	LAS		15
DF63	<i>Bridge FF</i>	DF63	AALM / FFB	4
PT-1	Pressão Tq. T-1	LD-302	AI	34
LT-1	Nível Tq. T-1	IF302	AI / SEL	34 / 52
LT-1_1	Nível Tq. T-1	LD-302	AI	34
LT-2	Nível Separador T-2	DT-302	AI	34
TT-3	Temperatura Linha Ar T-3	TT-302	AI	34
PT-3	Pressão Linha Ar T-3	LD-302	AI	34
PT-2	Pressão Compressor Ar	LD-302	AI	34
FT-4	Vazão Linha Água T-4	8732	AI	10
FT-5	Vazão Linha Ar	8800	AI	15
FT-6	Vazão Linha Óleo T-5	Futuro	Futuro	Futuro
B-1	Bomba Água	IF302	PID / AO	67 / 30
B-2	Bomba Óleo			
PV-1	Válvula Pressão Tanque T-1	Fisher DVC6200	PID / AO	20 / 15

LV-1	Válvula Nível Tanque T-1	Fisher DVC6200	PID / AO	20 / 15
LV-2	Válvula Nível Separador T-2	Fisher DVC6200	PID / AO	20 / 15
FV-3	Válvula Vazão Linha Ar T-3	Fisher DVC6200	PID / AO	20 / 15

Tabela 4 – Tabela de tempo dos macrociclos dos blocos funcionais.

- **Rede 1**

A rede H1, possui 5 dispositivos de campo e 2 controles (Figura 44). O controle de nível do Tanque T-1, consiste em medir o nível do tanque e atuar na válvula de saída de água, caso o nível atinja 80% do tanque o controle atuará na velocidade das bombas através dos inversores de frequência, presentes na rede 2, por isso, neste caso, o bloco FFB presente na *bridge* DF63 será responsável por promover a comunicação entre as redes 1 e 2. Além deste, na rede 1 há também o controle de pressão do tanque T-1.

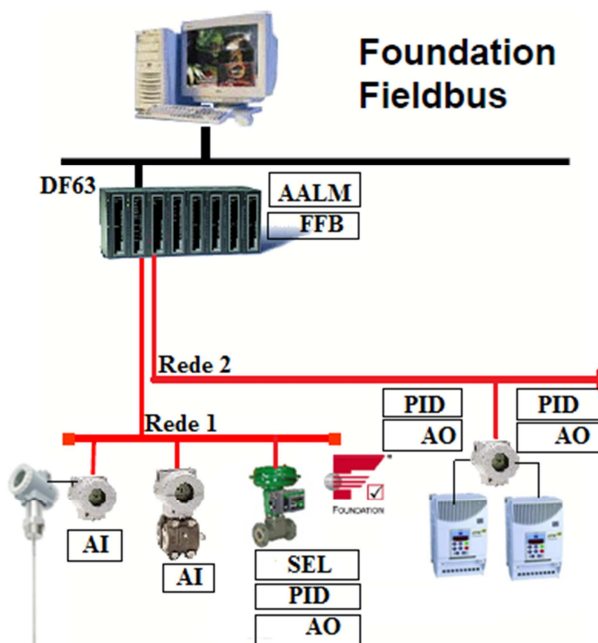


Figura 44 – Instrumentos e blocos utilizados para o controle de Nível T-1.

O tanque T-1, possui dois medidores de nível, o medidor por onda guiada e o transmissor de pressão diferencial. O bloco de seleção (SEL) selecionará o medidor secundário automaticamente, caso o primeiro entre em falha, este bloco está localizado no posicionador de válvulas LCV-1, juntamente com os blocos PID e AO.

Caso o transmissor selecionado indique nível alto do tanque T-1, o bloco de alarme (AALM) localizado na DF63 será acionado ativando o bloco FFB que enviará um sinal aos dois blocos PID do IF302, localizado na rede 2, para que diminua a rotação das bombas de água e óleo através dos inversores de frequência. O macrociclo da rede 1 é contabilizado apenas pelos blocos funcionais presentes nesta rede, portanto, os blocos localizados no IF302 serão contabilizados no cálculo de macrociclo da rede 2. Os controles em diagramas de blocos são mostrados abaixo.

Para envio de mensagens externas entre blocos localizados em dispositivos diferentes, é necessário o recebimento do *Compel Data*, enviado pelo LAS. Já para a troca de mensagens no mesmo dispositivo, não há necessidade desta espera. Os links externos são as setas tracejadas entre os blocos, já as setas retilíneas representam blocos dentro de um mesmo dispositivo.

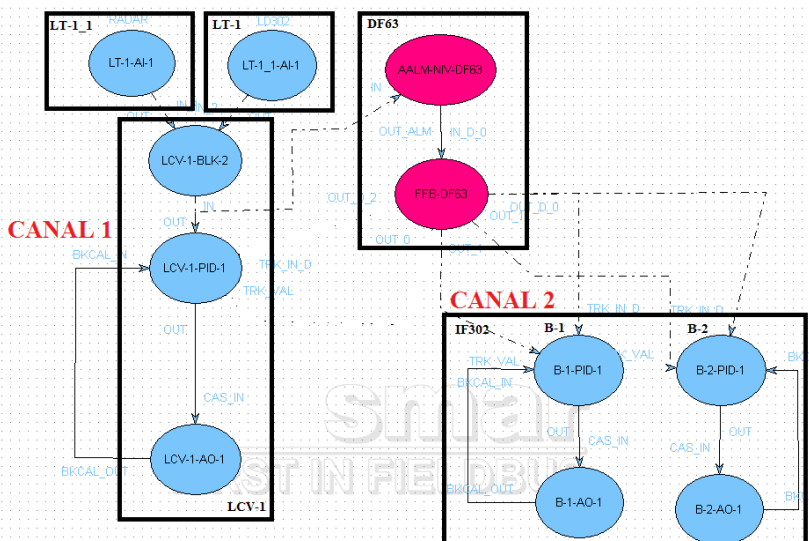


Figura 45 – Controle de Nível do tanque T-1.



O tempo do tráfego cíclico (*foreground*) pode ser determinado pela somatória dos tempos individuais de execução do Bloco de Função mais o tempo de publicação na rede (Figura 46) [9].

Como os dois blocos AI possuem o mesmo tempo de execução, segundo manual do fabricante (tabela 4), e enviam dados ao mesmo tempo, não é necessário contabilizá-los duas vezes.

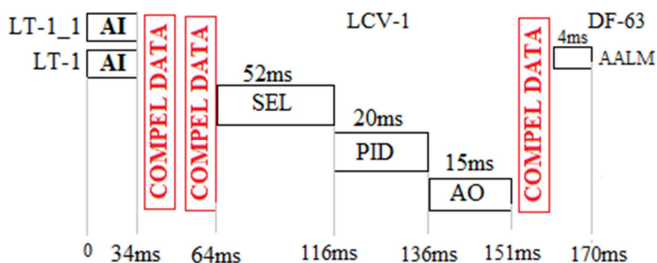


Figura 46 – Blocos do Controle de Nível T-1 para cálculo do *foreground*.

1. No tempo zero iniciam-se as tarefas dos sensores de nível LT-1\_1 e LT-1 fazendo suas medidas, este tempo é de 34ms.
2. No instante 34 iniciam-se as transmissões escalonadas. O LAS autoriza o sensor LT-1\_1 a enviar sua medida para o barramento.
3. No instante 49 o LAS autoriza o sensor LT-1 a enviar sua medida para o barramento. As duas medidas são lidas pelo bloco SEL localizado na válvula de controle LCV-1.
4. No instante 116 a medida do sensor selecionado é enviado ao PID que gasta 20ms para realizar seus cálculos.
5. No instante 136 a válvula de controle LCV-1 inicia seu posicionamento.
6. No instante 151 o LAS autoriza a medida do sensor selecionado pelo bloco SEL ser enviado para o barramento para ser lido pelo bloco de alarme AALM, localizado na *bridge* DF63.

O *foreground* (F) do controle de nível do tanque T-1 será

$$F = 34 + 15 + 15 + 52 + 20 + 15 + 15 + 4 = 170 \text{ms.} \quad (34)$$

Para o controle de Pressão do Tanque T-1 foram necessários um transmissor e um posicionador de válvulas.

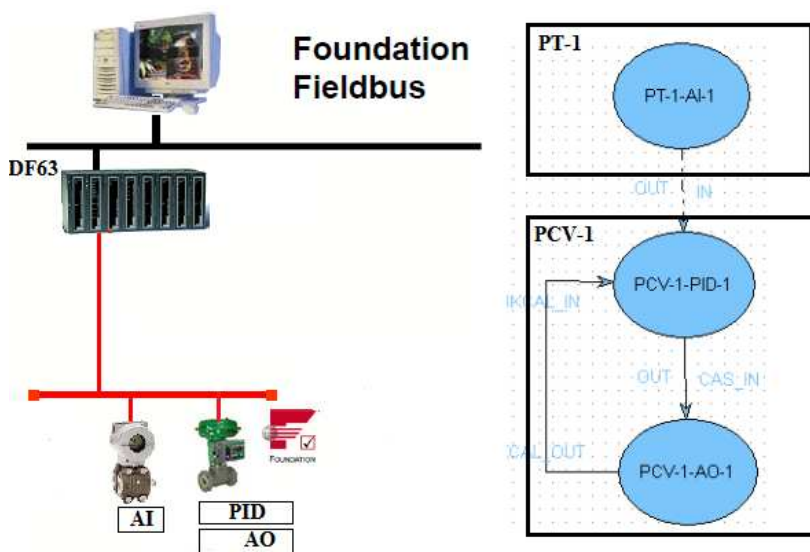


Figura 47 – Instrumentos e Blocos utilizados no Controle de Pressão T-1.

Este trata de um controle simples, onde o transmissor mede a pressão do tanque T-1 e controla a válvula de saída de pressão correspondente.

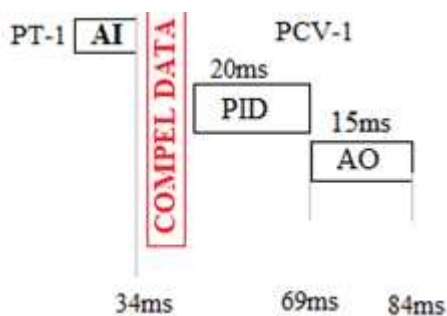


Figura 48 – Blocos do Controle de Pressão T-1 para cálculo do *foreground*.

1. No tempo zero inicia a medição do sensor PT-1.
2. No instante 34 o LAS autoriza o sensor PT-1 a enviar sua medida para o barramento.
3. No instante 49 o bloco PID inicia seus cálculos.

4. No instante 69 a válvula de controle PCV-1 inicia seu posicionamento.

Neste caso, o *foreground* será  $F = 34+15+20+15 = 84\text{ms}$ .

Quando existe mais de uma malha de controle na rede que possuam estruturas parecidas, estas funcionam em paralelo, portanto o macrociclo total da rede não é a soma de todas as malhas. Misturar macrociclos requer práticas de projetos, com atenção particular para periodicidade, que pode gerar conflitos após um numero significativo de ciclos, portanto, o melhor é manter as malhas de controle o mais simples possível [9].

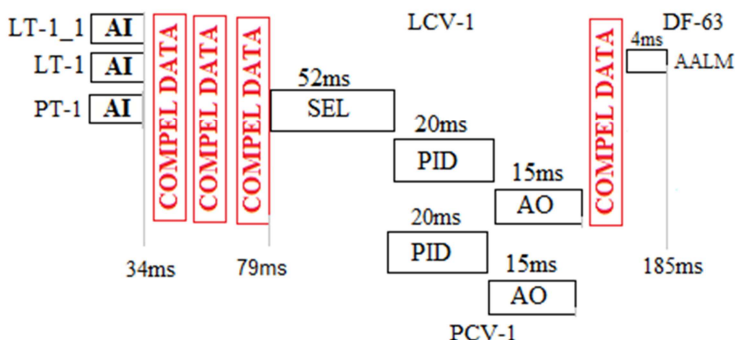


Figura 49 – Blocos de Controle para cálculo do *foreground* da rede 1.

Os controles de nível e pressão enviarão mensagens de forma paralela, portanto, os blocos AI, PID e AO, referentes ao controle de pressão, não precisarão ser contabilizados no *foreround* total, já que possuem os mesmos tempos de tais blocos utilizados no controle de nível, assim, deve ser considerado apenas um *Compel Data* a mais, referente ao controle de pressão. Portanto, o *foreground* total da rede 1 será

$$F_T = 170+15= 185\text{ms}. \quad (35)$$

É aconselhável manter cerca de 70% do tempo do ciclo para dados acíclicos (*background*). Alguns fornecedores de sistema do *Host* tem isto codificado dentro dos seus sistemas como um mínimo *default* de 60%, o qual não pode ser diminuído, permitindo também que a rede possa se expandir caso necessário [9].

Como o tempo cíclico da rede 1 é de 185ms, a fim de se garantir que 70% do tempo seja alocado para dados acíclicos, a largura de banda mínima para a rede 1 deve ser 500ms.

Uma regra bastante utilizada para requisitos de largura de banda é assumir que cada instrumento requer 50ms para executar o seu bloco de função [9].

$$T(\text{load}) = (N_p + N_c) \cdot 50\text{ms} \quad (36)$$

Onde:

- $T(\text{load})$  = Tempo para executar todos os blocos de função da rede.
- $N_p$  = Número de instrumentos na rede.
- $N_c$  = Número de *Compel Data* enviados pelo LAS.

No caso da rede 1, o tempo necessário para execução de todos os blocos de função é

$$T(\text{load}) = (5 + 4) \cdot 50\text{ms} = 450\text{ms} \quad (37)$$

No caso do *software* Syscon, o tempo de largura de banda da rede é definido pelo fabricante, podendo ser alterado pelo usuário para um tempo maior, caso necessário. A partir de uma tabela em formato .txt disponibilizada pelo *software* Syscon, foi possível medir o macrociclo das redes (item 5 - Resultados) e compará-los com os resultados calculados.

## • Rede 2

A rede 2 é composta por 7 instrumentos e um único controle (Controle de Interface do Tanque T-2), sendo o restante dos dispositivos apenas monitorações.

O controle de interface também trata de um controle simples, onde um transmissor de densidade mede o nível da interface água-óleo e atua em uma válvula de controle de saída de água correspondente.

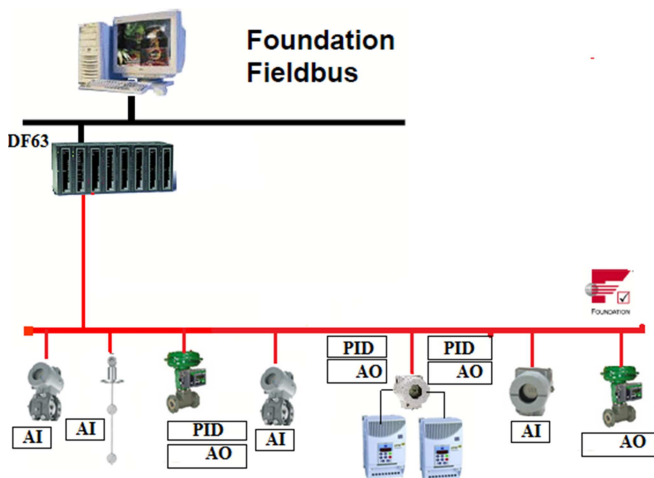


Figura 50 – Instrumentos e Blocos utilizados na Rede FF 2.

O controle em diagrama de blocos e o cálculo do *foreground* para o controle de interface e monitorações são mostrados abaixo. Neste caso o tempo de execução dos blocos AI dos instrumentos PT-2, FT-1 e TT-1, bem como o bloco AO do instrumento FCV-1, são apenas monitorações e não são contabilizados no *foreground*, pois enviam suas mensagens no período não escalonado (tempo 0), já que possuem o mesmo tempo que o bloco AI do controle de interface e o bloco AO possui um tempo de execução inferior.

1. No tempo zero iniciam-se as medições não escalonadas do sensor de nível de interface LT-2 e das monitorações PT-2, FT-1 e TT-1, bem como o posicionamento da válvula FCV-1, que trabalha em modo manual, configurada para 100% aberta.
2. No instante 34 o LAS autoriza o sensor LT-2 a enviar sua medida para o barramento.
3. No instante 49 o bloco PID inicia seus cálculos para o nível de interface água-óleo.
4. No instante 69 a válvula de controle LCV-1 inicia seu posicionamento.

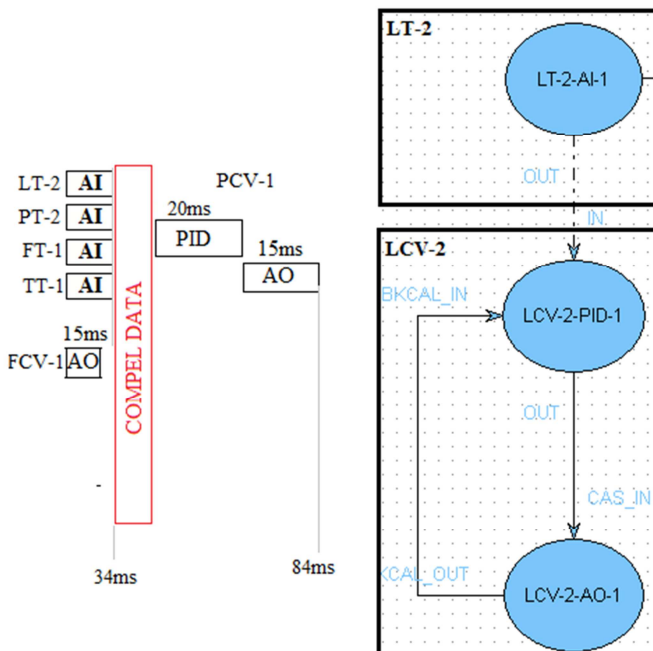


Figura 51 – Cálculo do *foreground* e controle de interface água-óleo.

Neste caso, o *foreground* será  $F = 34 + 15 + 20 + 15 = 84$ ms.

Além do controle de nível de interface água-óleo, a rede 2 ainda possui o controle das rotações das bombas de água e óleo, caso o nível do tanque atinja 80%. Neste caso, os tempos de execução dos blocos PID e AO são maiores que os dos demais controles, pois estão localizados no dispositivo da Smar, que possui tais tempos maiores que os blocos dos dispositivos do fabricante Emerson.

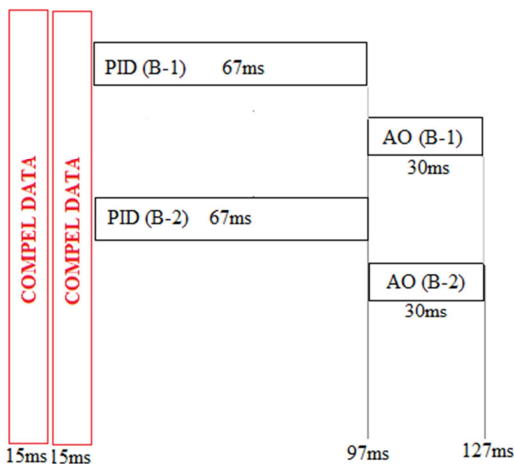


Figura 52 – Cálculo do *foreground* para a rotação das bombas de água e óleo.

1. No instante 0 o LAS autoriza a DF63 enviar suas mensagens através do bloco FFB.
2. No instante 30 os blocos PID B-1 e B-2 iniciam seus cálculos paralelamente.
3. No instante 97 os inversores de frequência iniciam seu posicionamento.

Neste caso, o *foreground* será  $F = 15 + 15 + 67 + 30 = 127\text{ms}$ .

Como os dois controles da rede 2 são bem diferentes quanto aos tempos de execução, somou-se *foreground* de ambos, a fim de se evitar possíveis conflitos de mensagens, portanto,

$$F_T = 84 + 127 = 211\text{ms}. \quad (38)$$

Utilizando novamente a regra para se obter a largura de banda da rede, tem-se [9]

$$T(\text{load}) = (N_p + N_c) \cdot 50\text{ms} \quad (39)$$

$$T(\text{load}) = (7 + 5) \cdot 50\text{ms} = 600\text{ms} \quad (40)$$

A largura de banda deve ser de no mínimo 600ms. Tipicamente utilizam-se tempos inteiros, como 500ms, 1s, 2s, e assim por diante. Por isso, conclui-se que o marcociclo da rede 2 é de 1s.

- **Rede 3**

A rede 3 é composta por apenas 2 instrumentos que realizam somente monitorações de vazão. Como não existem comunicações com outros blocos, não há envios de *Compel Data* por parte do LAS, por isso não há dados cíclicos na rede, os dois sensores iniciam suas medições não escalonadas no instante 0, seus dados são enviados quando recebem o PT (*pass token*) por parte do LAS.

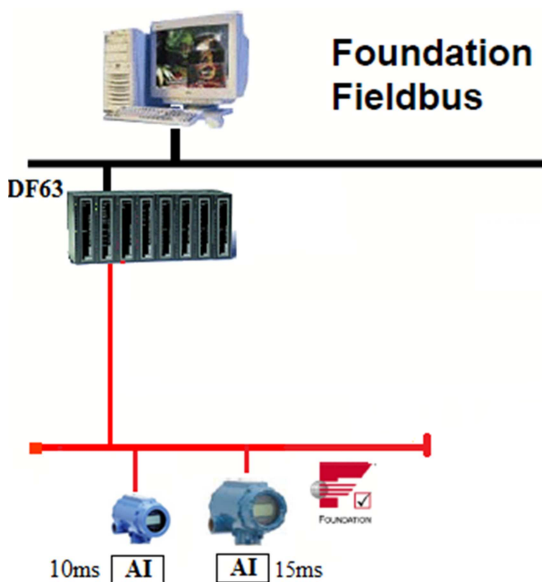


Figura 53 – Instrumentos e Blocos utilizados na Rede FF 3.

#### 4.2.4 Camada de Usuário

Este nível é onde sensores e atuadores fazem interface com o usuário, para tanto é necessário que haja uma forma para que os dispositivos e programas de aplicação possam acessar funções de outros dispositivos na rede FF, assim tal tecnologia é baseada em blocos e nas descrições do dispositivo, chamada *device descriptions* (DD).

Os dispositivos de campo datam de 7 anos atrás (2008) e continuam informações desatualizadas, por isso, foi necessário fazer a atualização dos *device description* em todos os dispositivos para que pudessem comunicar-se entre si e com o *hardware* e *software* atuais.



Para tanto, realizou-se o *download* dos arquivos disponíveis no site da *fieldbus* e os que não foram encontrados, por serem bastante atuais, foram enviados pelo fabricante do instrumento.

Os três arquivos necessários devem ser copiados para a pasta Device Support (Installation Path>\Smar\Device Support) dentro do Syscon, assim o mestre FF terá acesso a todas as informações necessárias do dispositivo.

A partir da inserção das DD`s é possível envolver os equipamentos da rede através das estratégias de controle e *links objects*. Esta tarefa é facilmente executada através da interface gráfica utilizada pela camada de usuário [7].

Como já mencionado, os instrumentos possuem blocos necessários para sua configuração, calibração, operação, manutenção e execução das estratégias de controle. Os blocos *Resource* (RES) e *Transducer* (TRD) existem em todos os dispositivos. Os blocos funcionais (*Function Blocks*) aparecem de acordo com as necessidades e funcionalidades dos dispositivos e são definidos pelo usuário [7].

Os blocos de controle PID foram alocados propositalmente no posicionador de válvulas e não no transmissor, a fim de se minimizar a quantidade links externos, que geram os *Compel Data* enviados pelo LAS, e conseqüentemente diminuir o macrociclo da rede.

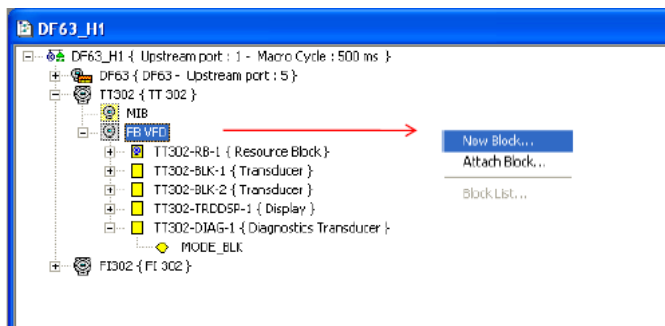


Figura 54 – Inserção de blocos funcionais nos dispositivos.

A figura 55 ilustra um exemplo interno do bloco funcional de entrada analógica (AI) utilizado.



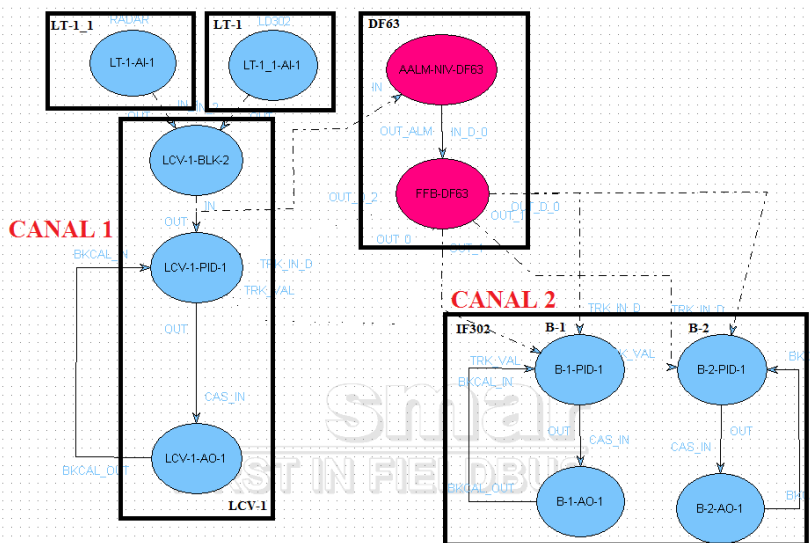


Figura 56 – Estratégia do Controle de Nível do Tanque T-1

O controle de nível do tanque T-1 mostra como se dá a conexão entre as redes 1 e 2. Neste caso, foi definido um alarme para nível alto em 80%. Se este valor for atingido, o bloco de alarme (AALM-NIV-DF63) é acionado, o bloco PID vai para o modo manual e a saída TRACK\_ENABLE do FFB também é acionada. Em seguida, o valor 10 configurado em TRACK\_VAL é enviado para a saída do PID, que envia um sinal de 10rpm para os inversores de frequência das bombas, quando o nível baixar de 80% o alarme é desativado e o PID retorna para o modo automático. Assim conclui o procedimento de Tracking com FFB.

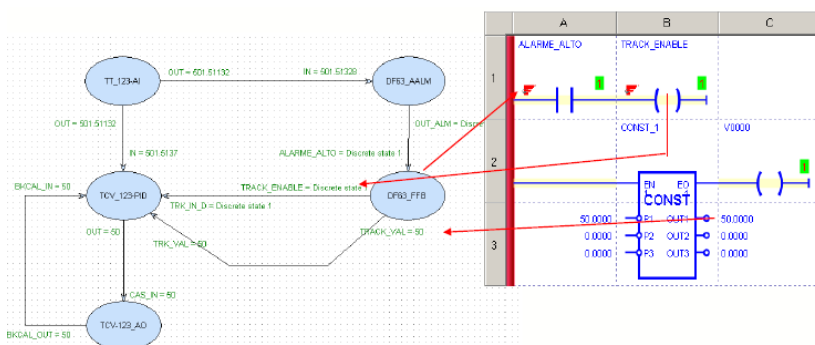


Figura 57 – Blocos Funcionais interagindo com lógica ladder através do FFB.

Nota-se que a camada de Usuário das redes FF é bastante amigável para configuração das malhas de controle. Além disso, também é possível verificar quando um dispositivo encontra-se em erro (a leitura da variável aparece em vermelho não em verde, como na figura 58). Se um dispositivo novo se conectar ou se desconectar da rede é possível visualizá-lo na *live list* de forma quase instantânea, é possível calibrar os instrumentos e configurar os instrumentos de forma otimizada (Figura 59), além de ter uma visão geral da planta em campo.

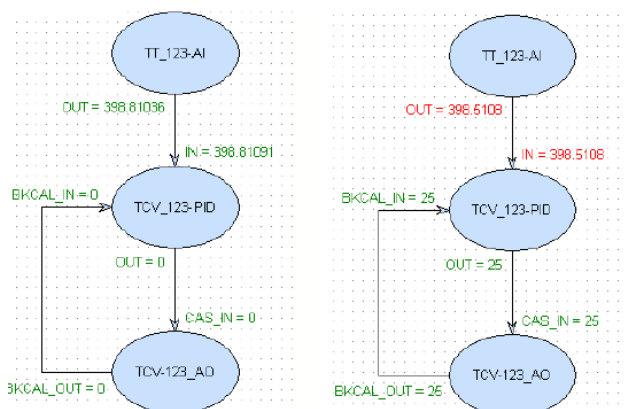


Figura 58 – Simulação de um fio desconectado no sensor (à direita).

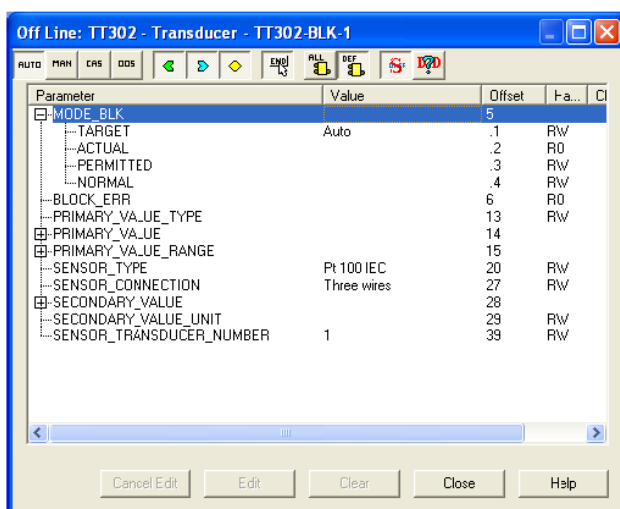


Figura 59 – Configuração dos parâmetros de um dispositivo de campo.

Todas as estratégias criadas para funcionamento das malhas de controle e configuração de cada bloco funcional utilizado encontra-se no Apêndice C.

## 5 SISTEMA INSTRUMENTADO DE SEGURANÇA E SISTEMA SUPERVISÓRIO

### 5.1 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA INSTRUMENTADO DE SEGURANÇA

Visando a confiabilidade e garantia de segurança da planta piloto, bem como de alunos e colaboradores envolvidos, foi desenvolvido um sistema de intertravamento de segurança a fim de se controlar as condições de valores e parâmetros de operação, garantindo a parada de emergência dentro dos limites considerados seguros e ainda, o impedimento do funcionamento da planta caso ocorra condições não favoráveis às condições seguras de operação.

Para a configuração foi utilizado o módulo DF75 da Smar e o *software Logic View* for FFB.

Para o intertravamento, a UEEM conta com 7 chaves de nível atuando nas bombas de água e óleo. Para a mudança do funcionamento do processo deve-se manipular as válvulas manuais, a UEEM deve operar em 7 condições distintas: escoamento de água, óleo, ar, água-óleo, água-ar, óleo-ar e água-óleo-ar.

Este trabalho deixou previsto no *hardware* as saídas necessárias para inclusão de válvulas automáticas em substituição destas manuais.



- **Escoamento de Óleo**

Para a planta trabalhar apenas com o escoamento de óleo as válvulas de bloqueio manuais devem estar da seguinte forma: SV-3, SV-5 e SV-8 abertas e SV-1, SV-2, SV4, SV-6 e SV-7 fechadas.

O sistema de segurança neste caso deve atentar-se ao nível alto do tanque de óleo (T-4) e também do tanque de pressão (T-1) para que não transbordem, assim caso as chaves LSH-1 e LSH-5 sejam acionadas, a bomba de água (B-2) deve ser parada.

Também deve atentar-se para que a bomba não funcione em vazio, ou seja, sem fluido, portanto, caso a chave de nível baixo (LSL-6) do tanque de água seja acionada, a bomba também deverá ser parada.

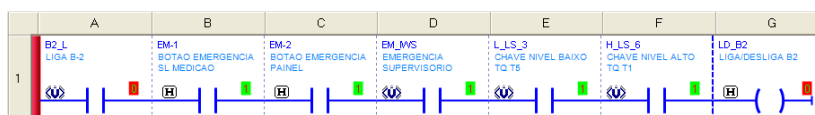


Figura 62 – Sistema de intertravamento para a bomba de óleo.

- **Escoamento de Ar**

Para a planta trabalhar apenas com o ar somente a válvula SV-6, deve estar aberta. Lembrando que o processo leva o ar para o tanque de pressão, portanto, a válvula de controle PCV-1 deve estar em operação e 100% aberta para que o ar saia do mesmo. É importante lembrar que este tanque possui uma válvula de alívio que é acionada automaticamente caso a pressão passe de 20psi, garantindo assim a segurança do processo, do local e das pessoas envolvidas.

- **Escoamento de Água-Ar**

Para a planta trabalhar apenas com o escoamento de água-ar as válvulas de bloqueio manuais devem estar da seguinte forma: SV4, SV-6 e SV-7 abertas e SV-1, SV-2, SV3, SV-5 e SV-8 fechadas.

O sistema de intertravamento neste caso é o mesmo para escoamento de água.



- **Escoamento de Óleo-Ar**

Para a planta trabalhar apenas com o escoamento de água-ar as válvulas de bloqueio manuais devem estar da seguinte forma: SV3, SV-6 e SV-8 abertas e SV-1, SV-2, SV4, SV-5 e SV-7 fechadas.

O sistema de intertravamento neste caso é o mesmo para escoamento de óleo.

- **Escoamento de Água-Óleo-Ar**

Para a planta trabalhar com o escoamento de água-óleo-ar as válvulas de bloqueio manuais devem estar da seguinte forma: SV1, SV-2, SV-6, SV-7 e SV-8 abertas e SV-3, SV4 e SV-5 fechadas.

Além do sistema de intertravamento para este caso ser o mesmo para escoamento de água e de óleo, deve-se atentar também ao nível do tanque separador (T-2), caso a chave de nível alto LSH-7 seja acionada as duas bombas devem ser paradas.

A UEEM possui ainda dois botões de emergência físicos, um localizado no painel de controle da UEEM e outro na sala de medição, caso sejam acionados as duas bombas param imediatamente, garantindo a segurança local. Além destes, foi configurado um botão de emergência no *software* de supervisão, caso o operador esteja planta esteja operando a planta longe dos dois botões físicos e seja necessária uma parada com urgência.

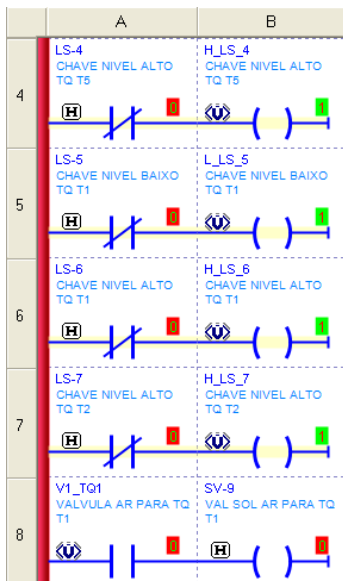


Figura 63 – Sistema de monitoração das chaves de nível.

## 5.2 DESENVOLVIMENTO DO *SOFTWARE* DE SUPERVISÃO

Diretamente da sala de supervisão é possível monitorar e controlar todo o processo da UEEM através de uma interface amigável, o *software* de supervisão ou SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) que no caso da UEEM é o Indusoft Web Studio, responsável pela comunicação entre o usuário e o controlador, e este com a planta. Tal comunicação se dá via OPC (*OLE for Process Control*), uma interface para comunicação cliente-servidor, assim é necessário que tanto o *software* do controlador como do supervisor possuam protocolo de comunicação OPC.

Sendo assim foi necessário primeiramente criar uma base de dados com todos os pontos a serem lidos pelo supervisor, a partir daí foram criados os *tags* de usuário para cada ponto, foi criada a tela principal que ilustra o processo e os controles existentes, foram criadas também telas para ajustes dos controladores, tela de alarmes e tela de histórico para as principais variáveis de processo.

Na tela principal estão todos os controles e monitorações. Nesta tela é possível passar um controle para modo “manual” escrever o valor desejado, ou mantê-los trabalhando de forma automática. É possível ainda ligar e desligar as bombas de água e óleo, inserir as rotações

desejadas, acionar o botão virtual de emergência, abrir/fechar as válvulas solenoides caso necessário e ainda navegar para outras janelas ou sair da aplicação.

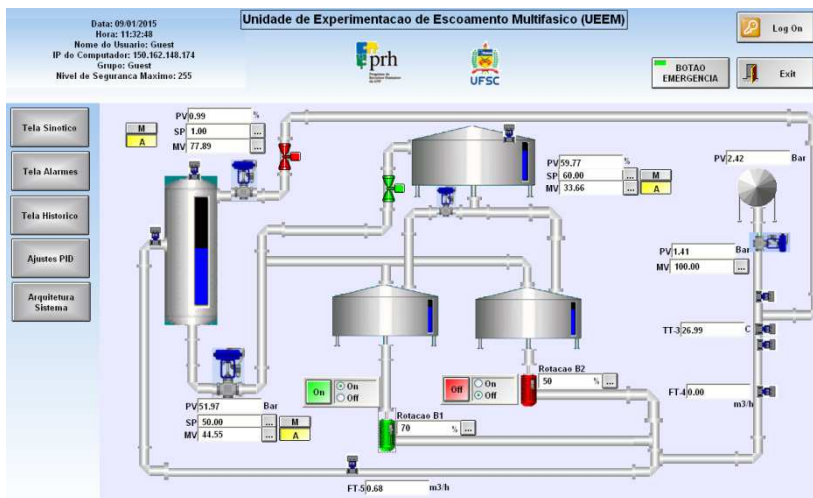


Figura 64 – Tela Principal da UEEM.



Figura 65 – Tela de Alarmes da UEEM.

Na tela de alarmes são mostrados todos os alarmes gerados durante a operação da planta. Estes são divididos em cores, quando o alarme está acionado aparece na tela em vermelho, caso o ponto de operação saia da condição de alarme e não seja reconhecido pelo usuário fica registrado na tela na cor azul.

Se o alarme for reconhecido, mas o dispositivo ainda continuar em situação de alarme, o ponto continua na tela na cor verde, e assim

que este sair da condição de alarme o ponto sai da tela. Assim sendo, os pontos na tela de alarme só se mantêm até que sejam reconhecidos e saiam da condição de alarme, isto evita poluição de pontos desnecessários na tela podendo confundir o operador ou até mesmo fazendo-o não dar devida importância, pelo fato de haver uma grande quantidade de dados registrados.

Todavia, é importante que um ponto que entrou em condição de alarme continue na tela até que seja reconhecido pelo operador, para que possa se tomar conhecimento do que causou a condição de alarme e tomar as providências necessárias.



Figura 66 – Tela de Histórico da UEEM.

Na tela de histórico ficam registrados em forma de gráfico todos os pontos de monitoração do processo, assim é possível visualizar a variável que se deseja a qualquer momento. Para tanto, basta selecionar a variável desejada, o dia e a duração que se deseja monitorar, tal seleção pode ser individual ou várias monitorações simultâneas. O histórico também mostra as variáveis em tempo real.

Este recurso que foi configurado é de extrema importância para os níveis hierárquicos mais altos, como a gerência do sistema, pois torna possível o estudo e visualização de todo o processo viabilizando tomada de decisões e busca contínua de melhorias.

O supervisor possui ainda a Tela “Ajustes PID”, onde é possível alterar os valores dos parâmetros Proporcional (Kp), Integral (Tr) e Derivativo (Td) das malhas de controle da Smar utilizadas no Syscon.

## 6 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

### 6.1 STARTUP DA PLANTA

O startup da planta é o momento de colocá-la em funcionamento e verificar o funcionamento do sistema de supervisão e controle projetado. Depois de interligar todos os equipamentos à rede e certificar de que todos estavam sendo alimentados inicializou-se a comunicação com o sistema e aguardou-se que os instrumentos fossem reconhecidos na *live list* e como esperado, todos os equipamentos foram identificados mostrando que os dispositivos estavam ligados de forma correta. Depois se inicializou o processo de *download* nos instrumentos, pois a configuração já havia sido realizada antes da interligação da planta.

Com os dispositivos se comunicando foi obtido o sinal de comunicação da rede FF com a planta parada, tal forma de onda é comparada com o sinal padrão *fieldbus* (Figura 68) e se mostra muito parecida com o esperado quanto ao valor pico a pico e a frequência da onda, mostrando que a rede e os dispositivos foram montados fisicamente conforme exigido pela norma.

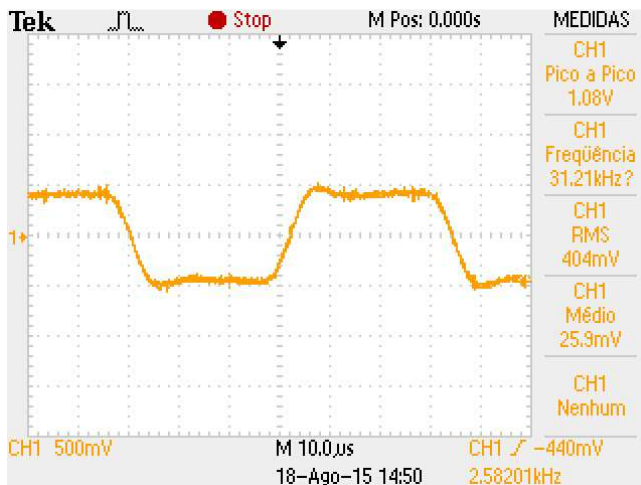


Figura 67 – Forma de onda FF obtida a partir da planta sem operação.

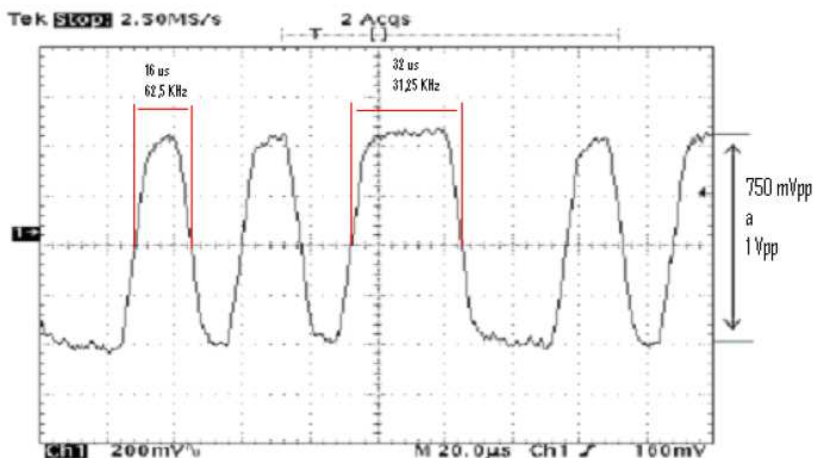


Figura 68 – Forma de onda típica FF (extraído de [42]).

O próximo passo foi calibrar os instrumentos em modo *online*. Este procedimento foi feito no próprio Syscon de acordo com os manuais dos fabricantes. A calibração de todos os instrumentos encontra-se no Apêndice C, juntamente com os demais parâmetros configurados em cada bloco funcional.

Depois dos instrumentos calibrados iniciou o trabalho de setar as malhas de controles iniciando pelo controle de pressão do tanque T-1, por considerá-lo de maior risco devido ao limite de pressão suportado pelo tanque. Primeiramente testou-se a malha em modo manual, verificou-se seu correto funcionamento, colocou-a em automático, inseriu-se um *setpoint* de 0.5 bar e observou a resposta da válvula de controle, os parâmetros dos controladores PID foram, à princípio, ajustados de acordo com a resposta visualizada, ou seja, utilizando um método empírico.

Para ajustes de todas as malhas de controle colocou-se os parâmetros de tempo integral e derivativo em 0 (zero) e iniciou-se com o ganho proporcional pequeno, aumentando-o gradativamente até que a válvula de controle (MV) estivesse com uma oscilação de amplitude constante. Depois se aumentou gradativamente a constante de tempo integral, até que a oscilação diminuísse, baixou-se cerca de 10% do ganho proporcional até que a malha de controle estivesse estável e com uma oscilação mínima aceitável.

Quando se verificou que o controle de pressão estava em funcionamento e com uma resposta desejável, iniciou-se da mesma

forma os ajustes para a malha de controle de nível do Tanque T-1, onde o *setpoint* foi colocado em 50%, e posteriormente os ajustes para a malha de controle do tanque de interface água-óleo, onde o *setpoint* foi colocado em 60%. Os parâmetros iniciais de startup da planta foram ajustados conforme tabela 5.

	Controle Nível T-1	Controle Pressão T-1	Controle Interface T-2
Kp - Ganho Proporcional	5	25	1
Tr - Tempo Integral	14	10	8
Td - Tempo Derivativo	0	0	0

Tabela 5 – Tabela de dados dos instrumentos digitais convencionais.

Depois de todos os controles estarem em funcionamento com água e ar, ligou-se a bomba de óleo e manteve-se a planta em operação durante 2 horas, verificando que o processo funcionou de acordo com o esperado.

## 6.2 MEDIÇÃO DOS MACROCICLOS

Neste ítem serão apresentados os macrociclos das redes medidos pelo *software* Syscon.

### 6.2.1 Macroциclo Rede 1

O Syscon padroniza o tempo acíclico como sendo 60% do macroциclo da rede. Esta porcentagem não pode ser alterada pelo usuário.

A figura 69 mostra que o macroциclo da rede 1 é de 500ms, sendo igual ao calculado no ítem 4.2.3. O *foreground* é de 150ms e o *background* de 350ms. O macroциclo pode ser alterado pelo usuário para um valor superior ao *default* definido pelo Syscon, nunca inferior.

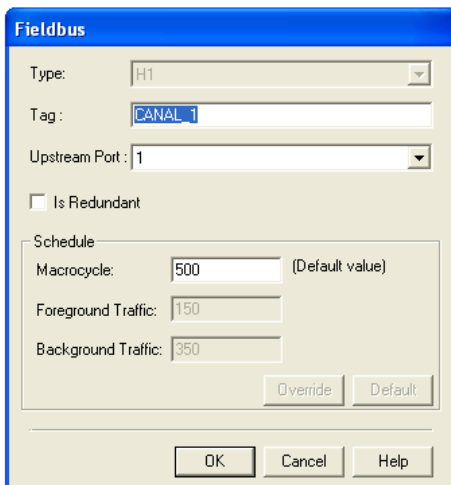


Figura 69 – Janela do Syscon que mostra os tempos do macrociclo da rede 1.

A partir de uma tabela disponibilizada pelo Syscon, foi possível medir o *foreground* da rede 1 (Figura 70).

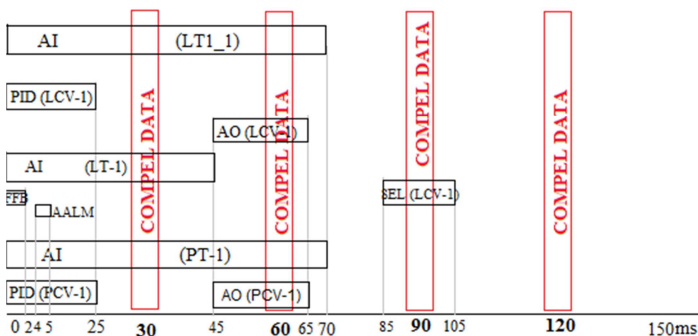


Figura 70 – *Foreground* da rede 1 medido pelo Syscon.

Comparando-se o macrociclo medido da rede com o macrociclo calculado, é possível notar diferenças nos dados cíclicos quanto ao tempo de execução de todos os blocos funcionais e suas disposições no tempo. Nos manuais do fabricante Smar, todos os blocos AI, por exemplo, possuem o mesmo tempo de execução, de 34ms, o que não acontece na prática, onde cada bloco AI possui um tempo de execução diferenciado.



Na prática, primeiramente são fixados os *Compel Data*, enviados pelo LAS, sendo um CD a cada 30ms. Foram realizadas diversas modificações na lógica de controle, e os CD se mantiveram a cada 30ms em todas as situações, independente da quantidade de CD existente no controle. Depois os blocos funcionais são alocados no tempo visando otimização do controle e minimizando ao máximo a geração de conflitos com o passar dos ciclos.

Observa-se na figura 70 que tarefas acontecem de forma paralela.

1. No tempo zero iniciam as medições dos sensores LT-1\_1, LT-1 e PT-1. Neste mesmo instante o bloco PID (LCV-1) inicia os cálculos da medição que será recebida pelo bloco SEL, e o bloco PID (PCV-1) inicia o cálculo que será recebido do sensor PT-1.
2. No instante 45 as válvulas de controle LCV-1 e PCV-1 iniciam seus posicionamentos.
3. No instante 85 o bloco SEL recebe a leitura dos dois sensores de nível.

### **6.2.2 Macroциclo Rede 2**

No caso da rede 2, a figura 71 mostra que o Syscon define como *default* o tempo de macroциclo de 1 segundo, assim como o calculado. Todavia, nota-se que o tempo acíclico (*background*) neste caso é maior de 60% do total, já que o *foreground* medido foi de apenas 120ms, portanto, menor que o calculado no ítem 4.2.3.

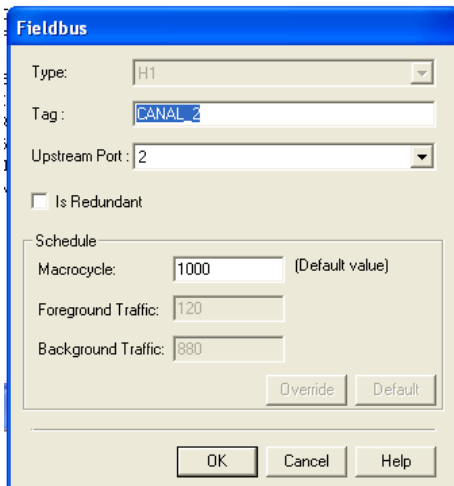


Figura 71 – Janela do Syscon que mostra os tempos do macrociclo da rede 2.

Abaixo é mostrado o *foreground* da rede 2 medido em campo.

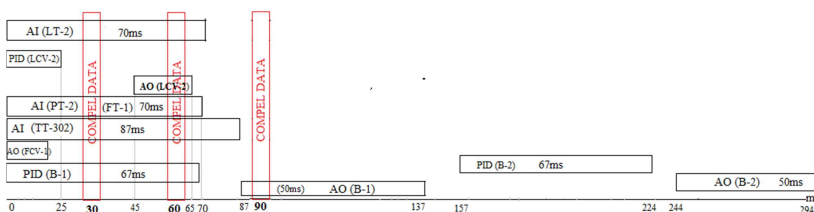


Figura 72 – *Foreground* da rede 2 medido pelo Syscon.

Nota-se na figura 72 que a execução dos blocos também é bem diferente do calculado, além disso, o *foreground* mostrado pelo Syscon na figura 71 é de 120ms apesar de o bloco com maior tempo de execução ser de 375ms. Isto se deve ao fato de o Syscon possuir um algoritmo interno capaz de fazer com que os blocos trabalhem de forma paralela, otimizando ao máximo o macrociclo.

### 6.2.3 Macrociclo Rede 3

Na medição em campo, a janela do Syscon abaixo, mostra que o macrociclo da rede 3 é de 500ms (mínimo considerado pelo Syscon) e o *foreground traffic* de 30ms, sendo o dobro do maior tempo de execução do bloco AI contido na rede, mantendo uma “janela vazia” do *traffic*

*foreground*, assim como nas demais redes. A figura 73 mostra o macrociclo medido da rede 3.

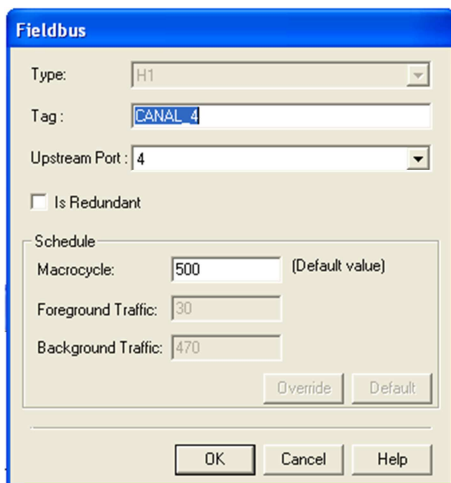


Figura 73 – Blocos utilizados na Rede FF 3 e Janela do macrociclo.

## 6.2 OBTENÇÃO DO SINAL DE COMUNICAÇÃO FF

Tão importante quanto todo projeto de automação FOUNDATION *Fieldbus*, é essencial verificar a integridade do sinal de comunicação, pois além deste trazer dados importantes como tensão do sinal, desbalanceamento, tempo de subida, tempo de descida e ruído, a forma de onda indica a qualidade do sinal, sendo assim, é possível prever um provável futuro problema de comunicação caso o sinal esteja fora do considerado “sinal padrão” e continue se degradando. Por isso, é importante gravar e arquivar estes sinais de onda para futuro acompanhamento, podendo ser utilizados no momento de manutenção do sistema ou caso haja alguma falha na comunicação.

Neste tópico, serão apresentados diferentes sinais obtidos a partir de testes realizados na UEEM. O objetivo de colher tais sinais é o estudo de forma aprofundada em diversas situações de operação da planta a fim de se garantir a qualidade do sinal de comunicação FF. Para tanto, utilizou-se o osciloscópio Atten ADS1000. Todos os sinais mostrados a seguir foram obtidos do canal 2, pois é o que possui o maior número de dispositivos conectados, além de se comunicar com os inversores de frequência das bombas, que são fortes geradores de ruídos.

Qualquer ambiente industrial que contenha máquinas e motores, é comum a emissão de energia eletromagnética. Esta energia pode ser gerada por chaveamento de circuitos de potência, acionamentos de relés, chaves, disjuntores, lâmpadas fluorescentes, aquecedores, descargas atmosféricas, aparelhos de micro-ondas, equipamentos de comunicação móvel, entre outros [33].

A interferência eletromagnética é um grande problema para as indústrias, especialmente para as redes industriais, onde a troca de dados é necessária para garantir a integridade e segurança operacional da planta [34].

Diversos problemas podem ser causados por tal interferência, entre eles, degradação de componentes eletrônicos dos equipamentos, falhas de comunicação entre dispositivos, alarmes gerados sem explicação, atuação em relés que não seguem uma lógica e sem haver comando para isto e queima de circuitos eletrônicos [33].

A UEEM possui dois motores acionados por inversores de frequência e dois compressores de ar, todos estes equipamentos são geradores de ruído. Para verificar a influência de cada um deles na rede *Fieldbus*, foram obtidos os sinais FF com o funcionamento individual destes equipamentos e posteriormente com todos ligados, isto é, com a planta completa em operação (Figura 77).

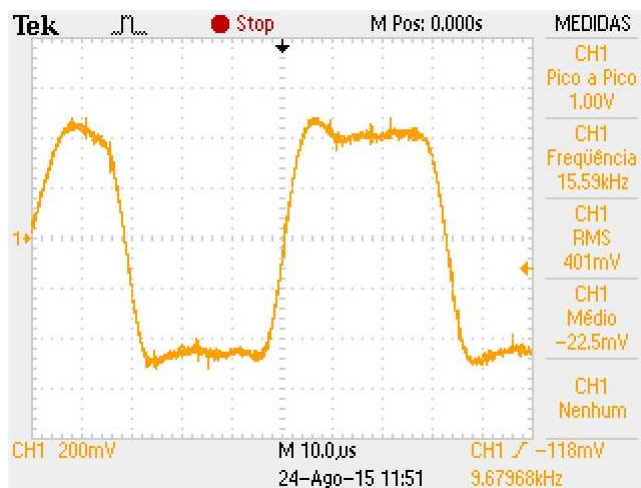


Figura 74 – Sinal de comunicação FF influenciado pelo compressor de ar para instrumentação.

Ao se colocar a planta em operação, o compressor de ar de instrumentação deve estar sempre obrigatoriamente ligado, já que é o responsável por enviar o ar para manipulação das válvulas de controle, portanto, todas as formas de onda a seguir são com este compressor ligado.

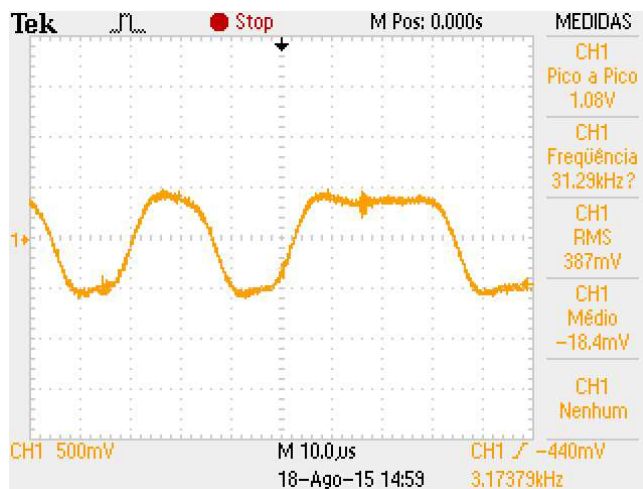


Figura 75 – Sinal de comunicação FF influenciado pela Bomba de Água e compressor de ar para instrumentação.

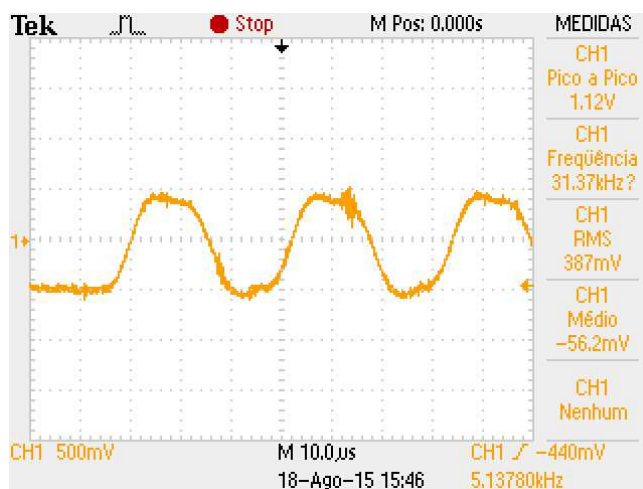


Figura 76 – Sinal de comunicação FF influenciado pela Bomba de Água e dois compressores de ar.

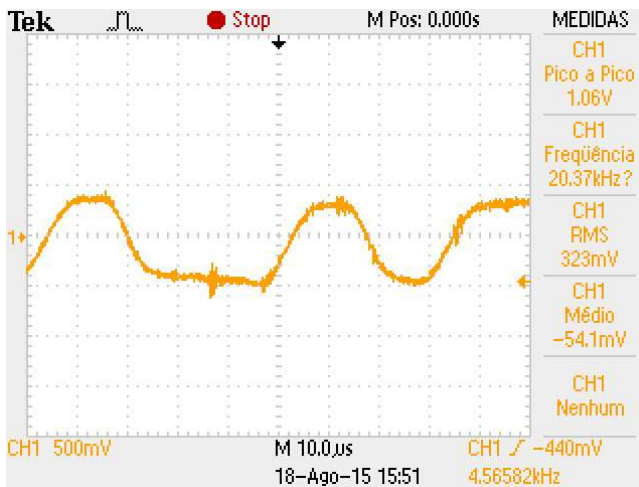


Figura 77 – Sinal de comunicação FF influenciado pelas duas Bombas e dois compressores de ar.

Nota que se obteve um sinal de qualidade em todos os casos, visto que pequenos ruídos nos picos das ondas são perfeitamente aceitáveis, pois segundo Verhappen e Pereira (2013), é praticamente impossível obter uma forma de onda ideal quando a planta está em operação.

A boa qualidade dos sinais se deve ao fato de ter se atentado às regras de instalação para redes FF, especialmente quanto à localização da passagem dos cabos, visto que os alguns cabos de potência estão muito próximos dos cabos de comunicação FF pelo fato de o painel de comando estar localizado ao lado do painel de controle, onde está instalado o sistema *fieldbus*. Por este motivo, é de suma importância que os cabos sejam blindados (que protege o sinal contra interferências elétricas) e pares trançados (que protege o sinal contra interferências magnéticas), lembrando que quanto maior o número de voltas por centímetro, mais eficiente é a blindagem (Figura 78). No caso da UEEM, as canaletas não são blindadas, uma sugestão de melhoria futura é a utilização de canaletas de alumínio, que possui alta imunidade às correntes de Foucault [25].

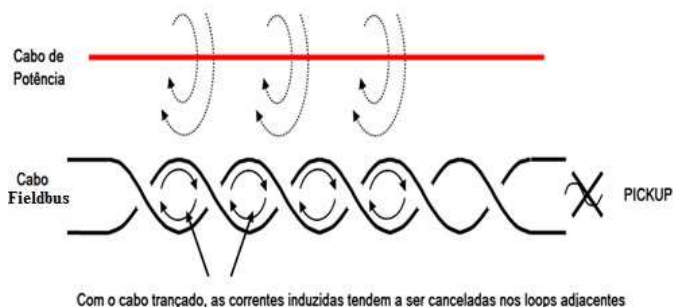


Figura 78 – Campos magnéticos gerados por correntes no cabo de potência e *Fiedbus* (extraído de 25).

A corrente que percorre o cabo de potência gera campo magnético, o campo magnético variável gera uma corrente elétrica que por sua vez, gera um campo contrário ao que lhe deu origem [34]. Quando se utilizam cabos de pares trançados, as correntes induzidas tendem a ser canceladas, não interferindo significativamente no sinal de comunicação [25].

Mesmo com cabos trançados e blindados, deve-se atentar à localização de passagem dos cabos. A norma IEC 61000-5-2:1997, que trata de compatibilidade eletromagnética, diz que a distância entre cabos de alimentação (Classe 4) e cabos de potência (Classe 2) devem estar distantes 45cm entre si [9].

Além disso, devem-se evitar comprimentos de fiação desnecessários, utilizar filtros entre a rede de alimentação e a entrada do inversor de frequência, garantir que há um único ponto de aterramento entre outros [25].

A fim de se obter e registrar possíveis futuros problemas de comunicação com as redes FF da UEEM, foram simuladas algumas situações que degradariam o sinal de comunicação, os gráficos para tais situações são mostrados abaixo.

Primeiramente retirou-se um dos terminadores da rede FF (resistor de  $100\Omega$  em série com um capacitor de  $1\mu F$ ). Tais terminadores têm a função de casar a impedância da rede, fazendo com que não haja reflexões de onda na linha de transmissão e garanta a conversão do sinal de corrente para sinais em níveis aceitáveis de 750 a 1000mV [28].

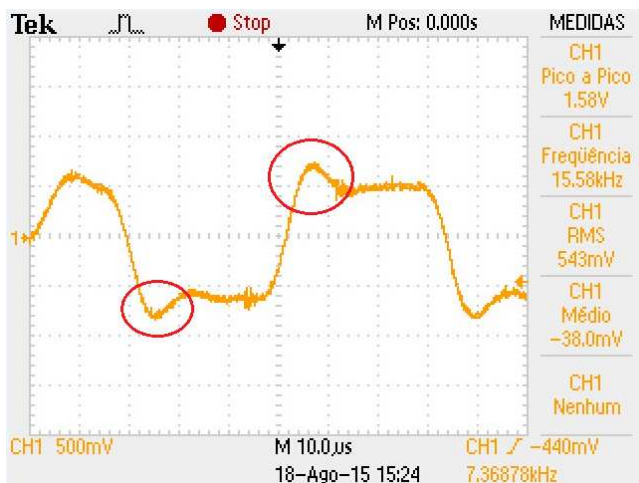


Figura 79 – Sinal de comunicação FF com um único terminador.

A falta de um terminador faz com que parte do cabeamento funcione com uma antena (transforma energia eletromagnética irradiada em energia eletromagnética guiada para a linha de transmissão) [28]. Os picos circulosados no sinal acima são comumente introduzidos na comunicação *fieldbus* através de distúrbios ocorridos na alimentação dos motores através dos inversores de frequência [9]. A figura 79 mostra ainda o sinal com um aumento de 58% na amplitude, ultrapassando 1Vpp podendo causar intermitências no sinal de comunicação.

Os gráficos das figuras 82, 83 e 84 mostram o sinal de comunicação obtido com o inversor de frequência sem a utilização do filtro na entrada da alimentação trifásica AC da rede.

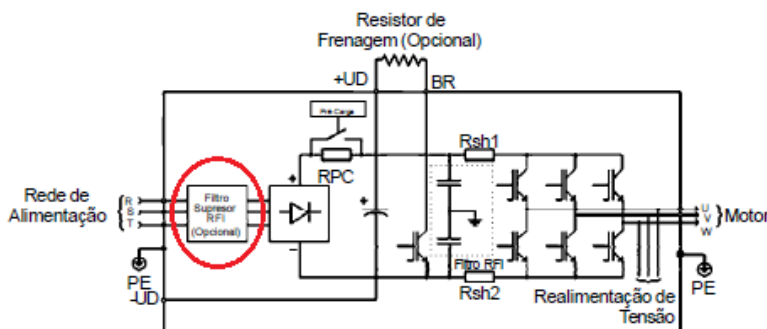


Figura 80 – Diagrama simplificado de potência do Inversor CFW08 (extraído de [51]).



Os inversores de frequência contêm circuitos de comutação (IGBT) que podem gerar interferência eletromagnética significativa nas frequências de 10MHz a 30MHz. Certamente este ruído pode gerar intermitências em equipamentos em suas proximidades [25].

Este, é chamado ruído em modo comum, responsável por alguns erros em malhas de 4 a 20mA e erros de comunicação em redes digitais. Tais ruídos acontecem a cada chaveamento dos IGBT's e podem ser classificados como: [35]

- Ruídos irradiados: onde o cabo de força funciona como uma antena;
- Ruído Conduzido: onde sinais elétricos circulam pelos cabos e malhas de terra.

O ruído em modo comum é proveniente da alta frequência existente no chaveamento dos IGBT's, o que produz correntes parasitas através de capacitâncias parasitas, que são pequenas capacitâncias do sistema, que em 60Hz não são significativas, mas em altas frequências passam a perturbar o sistema [35].

No caso do sistema em questão a frequência de pulsação dos inversores estão configurados para 5KHz, ou seja, a cada 0,2ms. Atualmente, com o uso dos semicondutores do tipo IGBT, é possível atingir tempos para comutação de tensão na ordem de 0,1 $\mu$ s [36]. A fim de se atenuar ruídos, é aconselhável sempre tentar trabalhar com a frequência de chaveamento a mais baixa possível [37].

Recomenda-se também a utilização de filtro EMI/RFI entre a rede de alimentação e os terminais de entrada do inversor, como mostrado na figura 80, e a instalação deste, deve ser a mais próxima possível da fonte de ruído [37]. A figura 81, mostra o diagrama elétrico do filtro EMI/RFI utilizado na entrada de alimentação dos inversores.

Esses filtros são essencialmente um conjunto de blocos capacitivos e resistivos, que ao se associarem de forma inteligente são capazes de criar uma Impedância = 0 (zero) entre a Rede e o aterramento para todas as frequências diferentes de 60 Hz, ou seja, picos de tensão, interferências emissões de radiofrequência como aparelhos de celulares e rádios, distorções harmônicas, e interferências eletromagnéticas como lâmpadas fluorescentes, motores elétricos, descargas atmosféricas, entre outros. Com a utilização do filtro, as variações de frequência são desviadas para o solo (aterramento), mantendo a onda fundamental a máxima possível estabilizada na frequência de 60Hz [54].

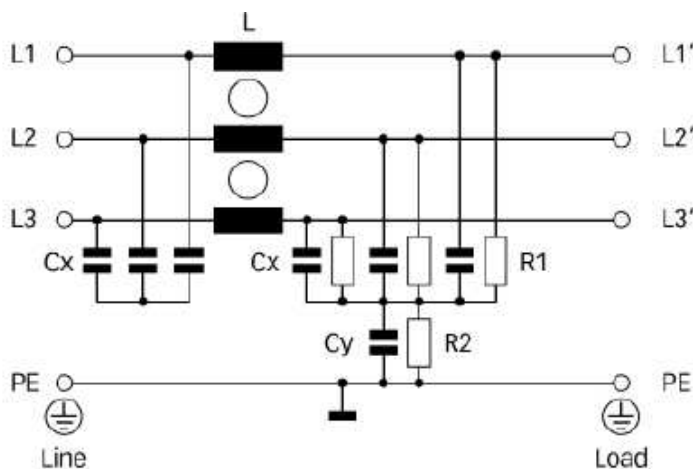


Figura 81 – Diagrama elétrico do filtro dos inversores (Extraído de [52]).

Na sequência são mostradas as interferências de ruídos provenientes da rede elétrica sobre os sinais de comunicação FF, que são solucionadas com a instalação do filtro EMI/RF. Nota-se que o sinal sem o filtro apresentou grandes ruídos em seus picos e após 4 minutos de funcionamento o sinal era praticamente nulo.

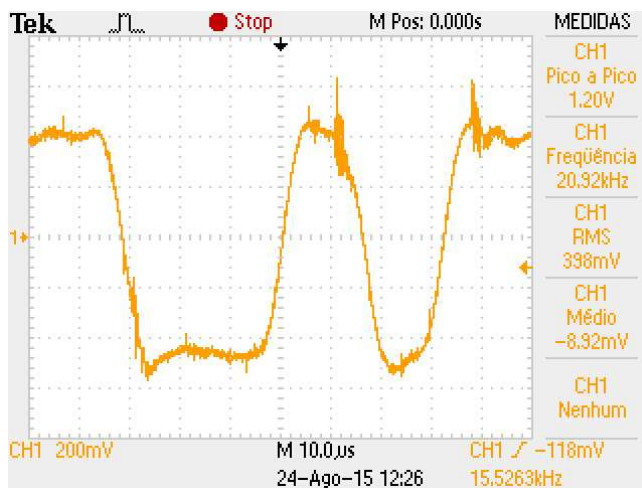


Figura 82 – Sinal de comunicação FF com Bomba de Água sem filtro.

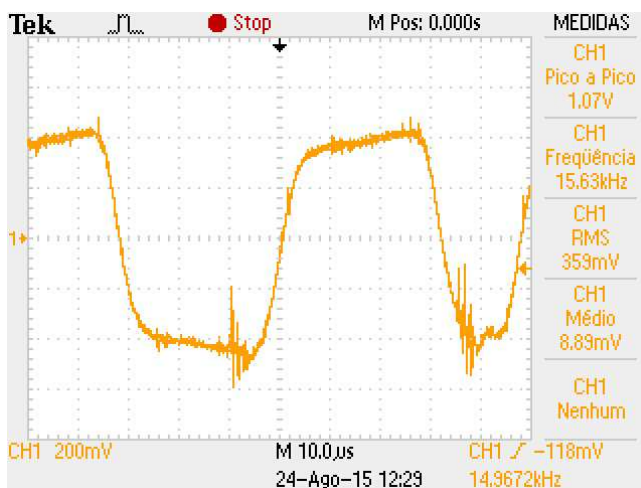


Figura 83 – Sinal de comunicação FF com Bombas sem filtro.

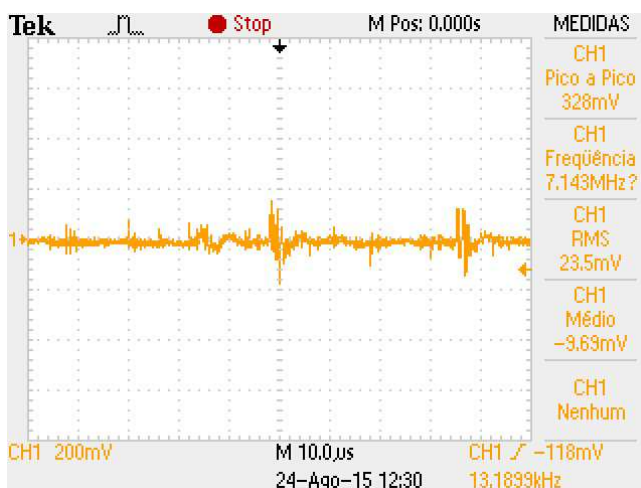


Figura 84 – Sinal de comunicação FF com Bombas sem filtro.

Com a obtenção destes sinais de comunicação é possível identificar de forma mais rápida, caso no futuro ocorra algum dos problemas aqui citados.

## 7 AUTOMAÇÃO DOS ENSAIOS NA UEEM

### 7.1 TESTES COM MEDIDOR DE FRAÇÃO DE ÁGUA NA UEEM

Neste capítulo será apresentada uma aplicação da Unidade de Experimentação de Escoamento Multifásico onde se colocou em prática a tese de doutorado intitulada “Tomometria capacitiva aplicada a medição de fração de água em escoamentos bifásicos”, desenvolvida no DAS, que visa apresentar uma nova técnica para medição da fração de volume de água baseado no método de tomografia elétrica capacitiva.

Fluxos multifásicos são caracterizados pelo escoamento simultâneo ao longo de um duto combinando-se duas ou mais fases, tais como gás-líquido, líquido-líquido, líquido-sólido, sólido-gás-líquido e gás-líquido-líquido, que permanecem separadas. Estes tipos de escoamentos de fluxo são amplamente encontrados em processos industriais de petróleo, química, energia, entre outros. Diferentes combinações de velocidades de fluxo das fases dão origem a diferentes padrões de fluxo, isto é, a configuração geométrica das fases no duto. No trabalho para desenvolvimento da nova técnica considerou-se o escoamento de ar-água e óleo-água com padrão de fluxo estratificado, caracterizado por um fluxo contínuo de óleo e água (ou gás e água) contendo as fases separadas e uma interface suave [22].

A fração de volume é um parâmetro importante de estudo em fluxos multifásicos, esta se define como sendo o quociente entre o volume ocupado por uma fase específica e o volume total da mistura no duto. É uma medida fundamental presente na maioria dos modelos de fluxo e frequentemente aplicada a fim de ajudar na identificação do padrão de escoamentos, bem como se obter estimativas de taxa de fluxo de duas fases. Em escoamentos bifásicos gás-líquido, a fração de volume de gás é comumente chamada de fração de vazio; e de duas fases líquido-líquido (água ou óleo, por exemplo), a fração de volume é comumente chamada de *hold-up* [22].

Inúmeras técnicas de mensuração da fração de volume (fração de vazio ou *hold-up*) foram desenvolvidas, tais como métodos de processamento de imagem, raio-X e raios-gama, tomografia computadorizada (TC) e métodos de verificação de impedância elétrica. No trabalho de doutorado desenvolvido, apresenta-se uma nova técnica de medida da fração de volume de água através do método baseado na tomografia de capacitância elétrica (electrical capacitance tomometry – ECTM) [22].

No método proposto utilizam-se 12 eletrodos, assim, um sinal de excitação é aplicado a seis eletrodos enquanto que os outros seis estão ligados ao circuito de medição, Figura 85. O sensor ECTM é construído com um diâmetro 76 milímetros no tubo de polipropileno. Os doze eletrodos são fixados na superfície exterior do tubo; Foi prevista uma blindagem envolvendo a parte externa do sensor a fim de proteger o circuito de campos eletromagnéticos externos [22].

O sistema ECTM inclui o gerador de onda senoidal de 500Hz, eletrodos e placa de aquisição de dados usada para enviar comandos de controle de comutação de circuito e adquirir o sinal de tensão AC proporcional à capacitância [22].

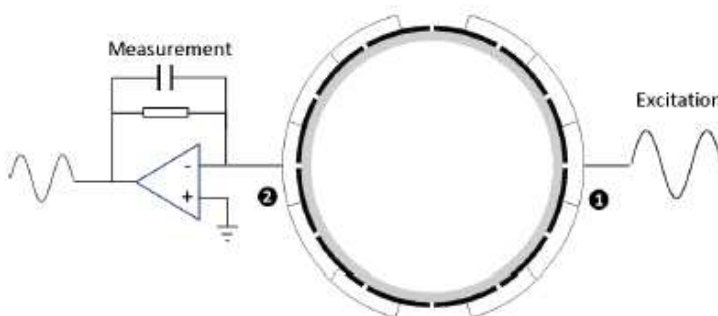


Figura 85 – Ilustração da técnica ECTM utilizando 12 eletrodos do sistema (extraída de [22]).

Foram realizadas simulações, experimentos estáticos e dinâmicos utilizando a técnica de medição proposta e esta foi comparada com outras técnicas descritas de forma detalhada no artigo aqui citado. A figura 86 mostra o resultado obtido da simulação e comparado com a técnica ETC com 3 e mais interações [22].

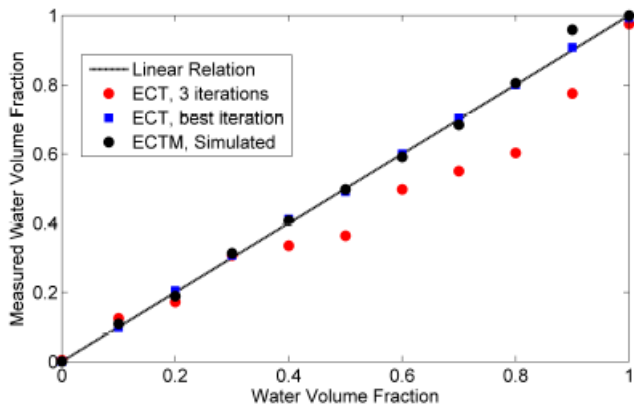


Figura 86 – Resultado da simulação das técnicas ECTM e ECT com óleo-água para fluxo estratificado (extraída de [22])

### • Experimento Estático

A fim de validar os resultados da simulação quantitativamente as seguintes experiências estáticas foram realizadas. Utilizou-se a água da torneira (permissividade relativa = 80) e óleo lubrificante (permissividade relativa = 2) para formar um fluxo estratificado estático. A figura 87 mostra o volume de água estimado para fração de 0 a 100% , como pode ser visto o resultado experimental foi bem parecido com o simulado [22].

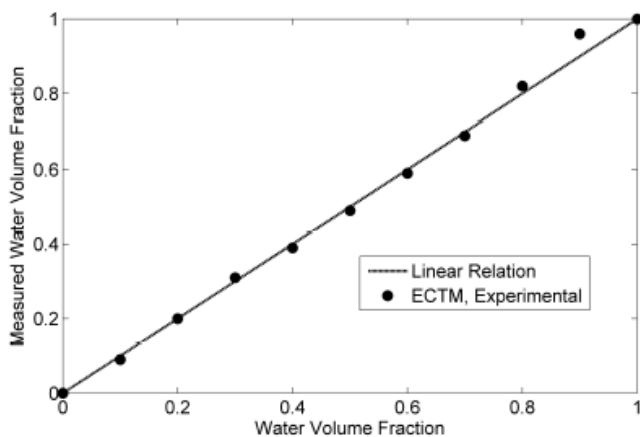


Figura 87 – Resultados experimentais estáticos utilizando a técnica ECTM para óleo-água com fluxo estratificado (extraída de [22]).

- **Experimento Dinâmico**

Para o experimento dinâmico o sensor foi colocado na linha de 3 polegadas da Unidade de Escoamento Multifásico (Figura 88). Foram realizados testes com fluxos simultâneos de água e ar, onde foi possível variar suas vazões através da alteração de velocidade da bomba de água e abertura/fechamento das válvulas manuais de água e ar. A Figura 89 mostra a fração estimada volume de água.

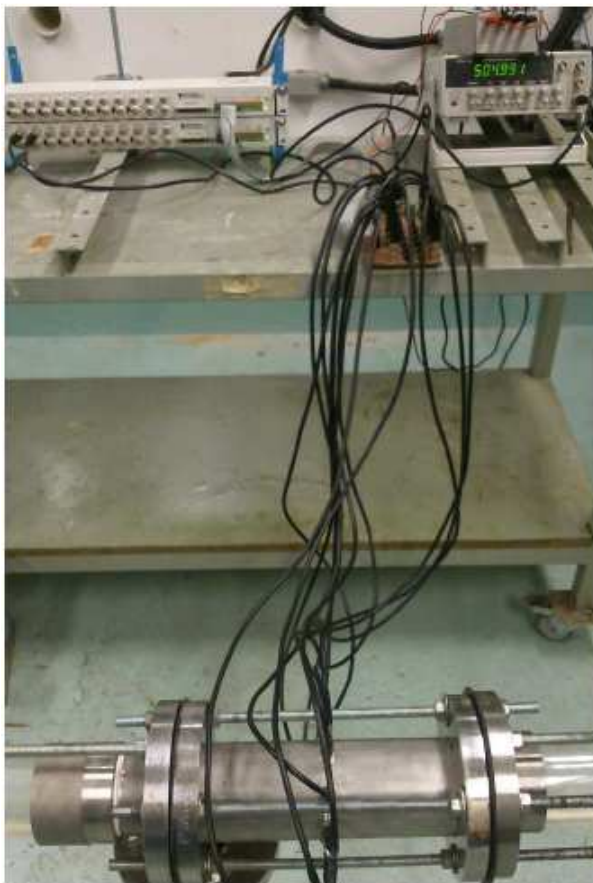


Figura 88 – Sistema ECTM aplicado à UEM (extraída de [22]).

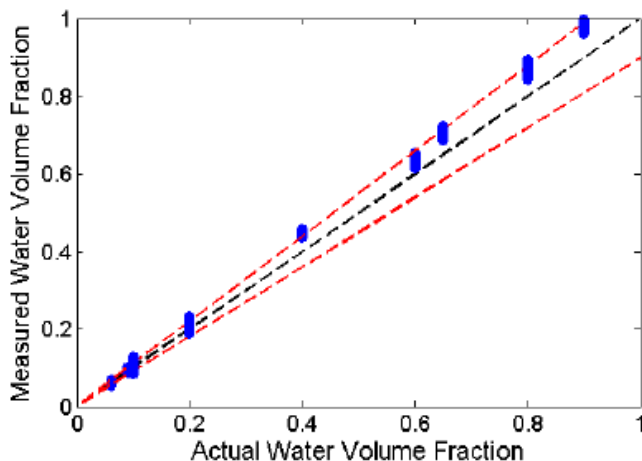


Figura 89 – Resultados experimentais do sistema ECTM de ar-água para fluxo estratificado (extraída de [22]).

O estudo de doutorado mostrou os resultados experimentais realizado em um sensor ECTM com 12 eletrodos e que com a utilização a técnica proposta é possível efetivamente estimar a fração de volume de água. O método ECTM necessita de apenas doze medições de capacitância e três iterações para se convergir, fornecendo confiança em aplicações em tempo real. Simulações e resultados experimentais para medir a fração de volume de água em um escoamento estratificado de óleo-água e ar-água foram mostrados. A pesquisa futura visa avaliar sistematicamente o método ECTM sob diversas parâmetros e condições experimentais [22].

### 7.1.1 Funcionamento da UEM durante os testes

As figuras 90 e 91 mostram as telas de histórico da UEM para os controle de nível e pressão do tanque T-1 durante parte dos testes realizados a fim de se obter os resultados experimentais dinâmicos para o sistema ECTM.



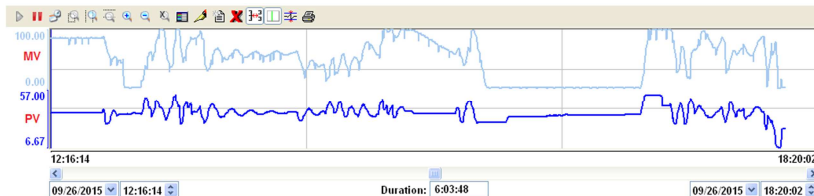


Figura 90 – Controle de Nível do tanque T-1.

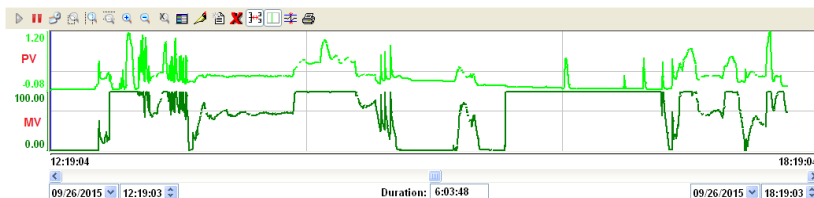


Figura 91 – Controle de Pressão do tanque T-1.

A partir dos gráficos de histórico com duração de 6 horas, é possível concluir que os controles de nível e pressão do tanque T-1 utilizados para a experimentação apresentam uma resposta satisfatória já que o sistema foi controlado mesmo com diversas e bruscas mudanças nas variáveis de processo (PV).

Nota-se no gráfico de controle de pressão (Figura 91) que em algumas passagens a válvula permanece constante, nestes pontos a válvula já se encontra em 100% de abertura.

## 7.2 IDENTIFICAÇÃO DE PADRÕES DE ESCOAMENTO NA UEEM

O conhecimento do comportamento dinâmico da pressão, das vazões das fases e dos padrões de escoamento durante o escoamento simultâneo de gás e líquido é fundamental para o projeto de sistemas da indústria química e de petróleo. Engenheiros de Petróleo deparam-se frequentemente com escoamento bifásico em tubulações provenientes dos poços e em linhas de produção [48].

Govier e Omer (1962) propuseram o conjunto de padrões de escoamento bifásico para tubos horizontais apresentado na Figura 92. Diferentes padrões de escoamento são observados quando há mais de duas fases presentes [48].

Este item do trabalho tem por objetivo a identificação de padrões de escoamentos na UEEM a partir de testes práticos, todavia não se estende ao estudo de escoamentos multifásicos de forma

aprofundada. Três tipos de padrão de escoamento foram identificados e comparados com a literatura: Estratificado, intermitente e golfadas.

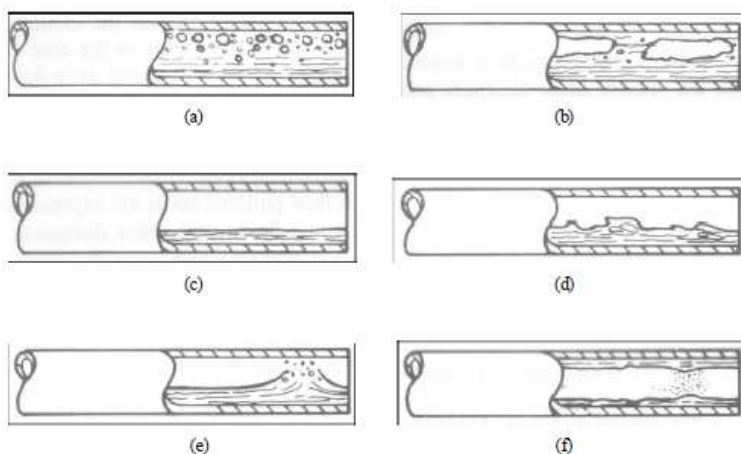


Figura 92 – Regime de Escoamento bifásico gás-líquido em dutos horizontais: (a) Fluxo borbulhante; (b): fluxo golfadas; (c): fluxo estratificado; (d): fluxo ondulado; (e): fluxo intermitente; (f): Fluxo anular (extraído de [53]).

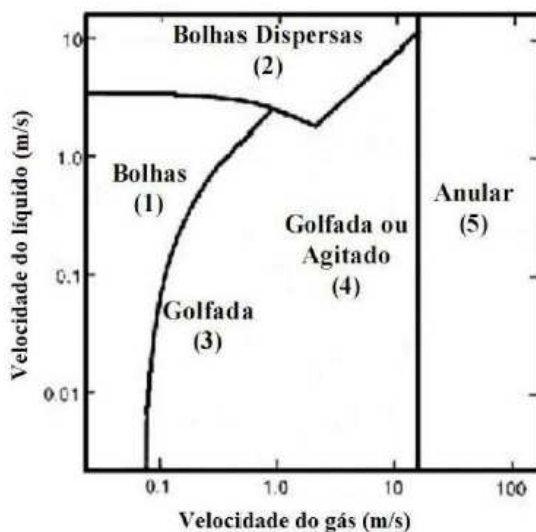


Figura 93 – Mapa dos padrões de escoamento (líquido-gás) em tubos horizontais (extraído de [53]).

Padrões de escoamentos identificados na UEEM:

- **Estratificado**



Figura 94 – Padrão de escoamento estratificado.

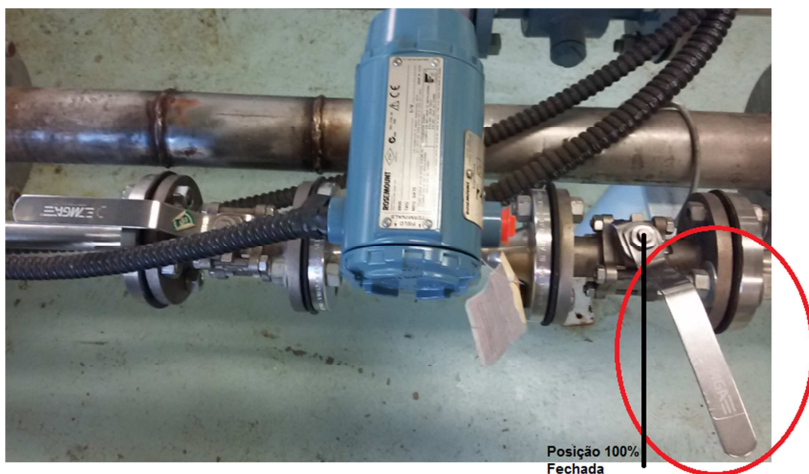


Figura 95 – Posição da válvula de ar para padrão de escoamento estratificado.

As condições que regem este tipo de padrão de escoamento são: para baixas vazões de líquido e de gás, efeitos gravitacionais causam a total separação entre as duas fases. Isso resulta no líquido escoando na parte inferior e o gás na parte superior. Elevações na velocidade do gás geram um aumento da tensão de cisalhamento entre as fases, resultando em uma interface ondulada [48].

Condições da UEEM para este padrão de escoamento:

Rotação da Bomba B-1: 25%

Vazão de Água:  $6\text{m}^3/\text{h}$

Para controlar a vazão de ar a fim de se conseguir diferentes padrões de escoamento deve-se manipular posição da válvula de ar conforme figura 95.

- **Estratificado Intermitente**

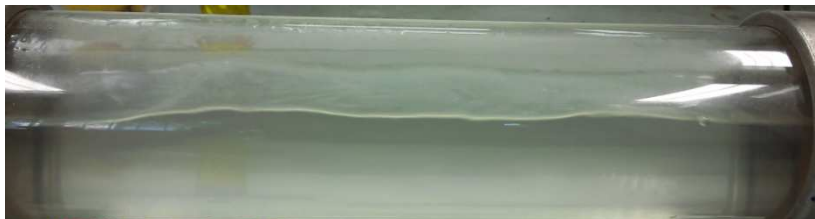


Figura 96 – Padrão de escoamento estratificado intermitente antes da bolha.



Figura 97 – Padrão de escoamento estratificado intermitente com a presença da bolha.

As condições que regem este tipo de padrão de escoamento são: conforme as vazões do líquido e do gás são elevadas, o escoamento estratificado se torna mais ondulado até que uma onda alcança toda a seção reta da tubulação. O pistão de líquido resultante, também chamado de slug, é acelerado pela velocidade do gás formando uma região a jusante do slug composta por um filme e uma bolha alongada (bolha de Taylor) [48].

Condições da UEM para este padrão de escoamento:

Rotação da Bomba B-1: 40%

Vazão de Água:  $7,2\text{m}^3/\text{h}$

- **Golfadas**



Figura 98 – Padrão de escoamento tipo golfada.

Para se obter este tipo de padrão de escoamento foram diminuídas as vazões de água e gás.

Condições da UEEM para este padrão de escoamento:

Rotação da Bomba B-1: 35%

Vazão de Água:  $6,7\text{m}^3/\text{h}$

Nota-se que em todos os casos os padrões obtidos na UEEM são muito parecidos aos da Figura 92.

Para se obter outros tipos de padrões de escoamento, deve-se manipular as entradas de vazão de água, relacionando-se a rotação da bomba B-1 com a vazão do medidor FT-4 e a vazão de ar de acordo com a curva fornecida pelo fabricante da bomba Netzsch (Figura 99), manipulando-se a válvula mostrada na figura 95.

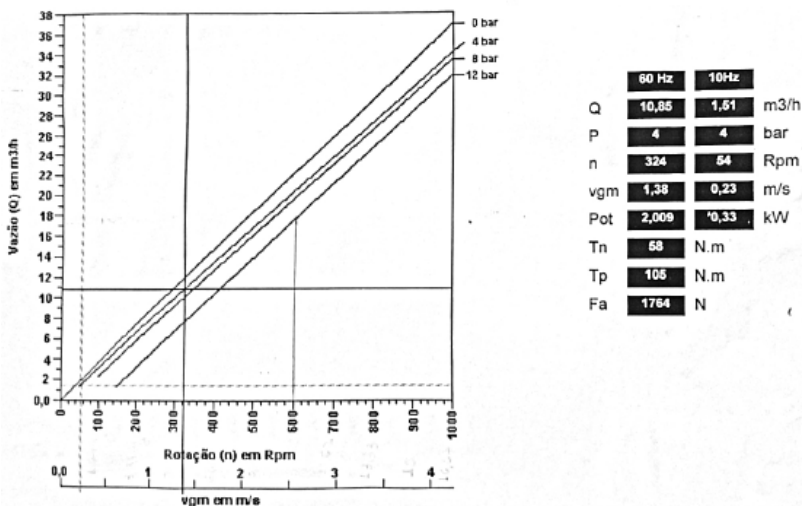


Figura 99 – Curva característica da rotação da bomba Netzsch e vazão de água. (Estraido de [61]).

## 8 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi possível projetar, implementar e verificar no Laboratório Experimental de Escoamento Multifásico *do DAS-UFSC*, todas as camadas da rede digital FOUNDATION *Fieldbus* (FF) para se automatizar uma Unidade de Experimentação utilizando equipamentos e instrumentos industriais.

Verificou-se que a tecnologia de redes FF apresenta realmente todas as vantagens salientadas na literatura, entretanto, para sua instalação e partida são necessários conhecimentos aprofundados de tal tecnologia, em especial quando na mesma instalação são empregados instrumentos de diferentes fabricantes que operam com o padrão FF. A detecção de problemas como ruídos na rede são de extrema importância, pois interferem na qualidade do sinal de comunicação, sobretudo, quando existem na rede H1 inversores de frequência atuando em bombas e motores elétricos, para tanto, é importante se utilizar filtros e adotar regras para melhor instalação da rede física visando diminuir interferências e ruídos que sempre existem em ambientes industriais.

Atualmente, a UEEM está operando em modo automático através de uma estação de controle amigável, o *software* Indusoft Web Studio na sala de operações da planta. Com a planta em funcionamento foram realizados vários testes sobre o processo e à rede FF. Um destes testes consistiu na retirada da *bridge* com a unidade em funcionamento a fim de se verificar o funcionamento do mestre *backup* das três redes H1. O teste obteve um resultado satisfatório uma vez que a planta continuou em operação e a posição de LAS foi transferida ao segundo mestre em cada uma das redes. Durante os vários testes a fim de se verificar o funcionamento do processo, fez-se algumas melhorias na unidade, como a instalação de válvula manual, válvula de alívio e *by pass*.

Ainda com relação ao processo da unidade, alguns problemas foram detectados especialmente tratando-se do escoamento que envolve água-óleo-ar: Se os líquidos estão percorrendo a uma baixa vazão (até 55% da rotação das bombas) consegue-se trabalhar com a planta em operação durante um tempo razoavelmente grande (a planta foi testada durante 4 horas) sem problemas, todavia, se aumentar as vazões até seu limite máximo (100% de rotação das bombas) gera-se uma grande emulsão da mistura água-óleo, onde somente através da gravidade a separação da mistura no tanque T-2 não acontece, fazendo com que o tanque de armazenamento de água contenha óleo misturado e vice-versa.

Com relação aos controladores projetados para a planta piloto, houve na implantação prática algumas diferenças com relação aos

resultados esperados, todavia, as respostas de todas as malhas de controle estão em uma faixa aceitável para o bom funcionamento do processo e a garantia de segurança da unidade. Assim, foi possível manter os valores dos parâmetros calculados com auxílio do *software* Matlab, lembrando que caso outros pontos de operação sejam utilizados bem como outras misturas de fluido, novos parâmetros de ajustes dos controladores deverão ser calculados.

Neste trabalho foi ainda realizado o cálculo do macrociclo de todas as redes FF de acordo com a literatura pesquisada, no entanto, foi possível verificar que na prática os resultados parciais e o macrociclo total foram diferentes dos calculados, isso se deve ao fato do sistema utilizar algoritmos internos com o objetivo de otimizar o macrociclo das redes que utilizam instrumentos Smar.

Ademais, com relação aos sinais de comunicação FF obtidos da planta piloto, conclui-se que todas as etapas de execução para implantação de tal tecnologia à UEEM são consideradas de boa qualidade, já que o sinal obtido na prática é muito próximo ao sinal padrão esperado, e é praticamente impossível obter um sinal livre de ruídos em ambiente industriais. Até a finalização deste projeto a UEEM não apresentou nenhum problema que envolva a tecnologia implantada FOUNDATION *Fieldbus*.

Ainda, com a automação da planta piloto foi possível testar experimentalmente uma nova técnica de medição de fração de volume de água projetada para ser utilizada em processos industriais, durante todo o teste a planta apresentou respostas de controle satisfatórias não havendo nenhum tipo de problemas durante toda operação. Os resultados deste experimento foram submetidos para publicação à revista IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, como Titulação: Development of an Electrical Capacitance Tomometry System using Rotating Electrodes and Image Reconstruction Algorithms (Francisco R. M. da Mota, Daniel J. Pagano and Mônica A. Dias).

Finalmente concluiu-se que, durante os testes, a unidade não apresentou todos os padrões de escoamentos esperados, principalmente devido aos vários ângulos de quase 90 graus das tubulações, o que faz com que o escoamento perca a velocidade e, muitas vezes, retorne em direção contrária, gerando golfadas intermitentes o que acaba por atrapalhar a identificação de outros padrões de escoamentos. Sugere-se aqui como um possível trabalho futuro a identificação, de forma automática (diretamente no supervísório) de todos os possíveis padrões de escoamento da UEEM, através da variação das vazões dos fluidos de entrada.

Sugere-se ainda, como trabalhos futuros e melhorias da UEEM:

- O estudo para desenvolvimento de medidores de vazão multifásico em linha;
- A implantação de novas técnicas para o projeto dos controladores para indústria do petróleo;
- O projeto de controladores envolvendo o escoamento de água-óleo-ar;
- Estudo para desenvolvimento de uma pré-separação da mistura água-óleo antes da chegada desta até o tanque de separação T-2;
- A substituição das válvulas manuais por automáticas visando maior segurança e precisão na escolha do tipo de escoamento desejado;
- Troca do compressor de ar por um compressor de vazão controlada;
- Instalação de um medidor de vazão na linha de óleo;
- Estudos para utilização de um tipo de óleo que não se misture tão facilmente com a água;
- Pesquisa de produto químico desmulsificante a fim de se diminuir a emulsão criada pela mistura água-óleo no interior das tubulações e tanques.



## APÊNDICE A – INSTRUMENTAÇÃO DA UEEM

### A.1 LD302- TRANSMISSOR DE PRESSÃO DIFERENCIAL FF

O LD302 da Smar é um transmissor com tecnologia FOUNDATION *fieldbus* para medida de pressão diferencial, absoluta e manométrica, além de nível e de vazão. Este possui um sensor capacitivo (célula capacitiva) que proporciona uma operação segura, sendo esta a peça chave na medição de pressão (Figura 100) [40].

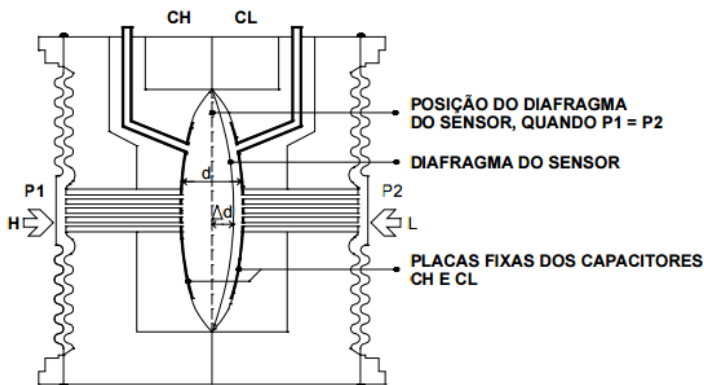


Figura 100 – Célula Capacitiva – LD302 (extraído de [40]).

Onde:

P1 e P2 são as pressões aplicadas nas câmaras *High* e *Low*

CH = capacitância medida entre a placa fixa do lado de P1 e o diafragma sensor.

CL = capacitância medida entre a placa fixa do lado de P2 e o diafragma sensor.

d = distância entre as placas fixas de CH e CL.

$\Delta d$  = deflexão sofrida pelo diafragma sensor devido à aplicação da pressão diferencial  $\Delta P = P1 - P2$ .

A capacitância de um capacitor com placas planas, de mesma área e paralelas pode ser expressa em função da área (A) das placas e da distância (d) que as separa [40]:

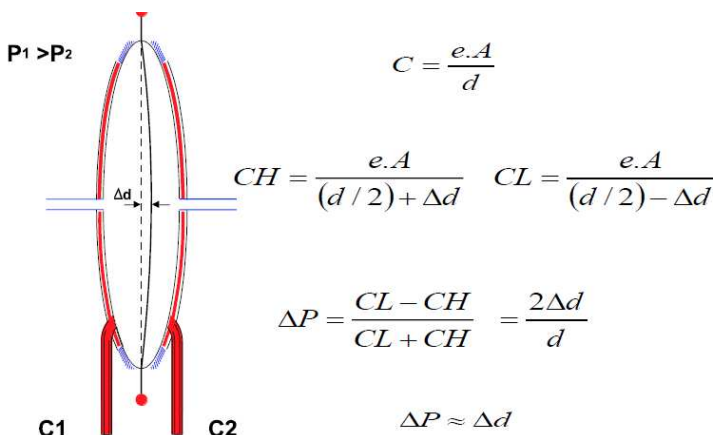


Figura 101 – Cálculo da pressão diferencial na célula capacitiva (extraído de [59]).

Onde  $\epsilon$  é a constante dielétrica do meio existente entre as placas do capacitor.

De acordo com a figura acima, a diferença de pressão entre as câmaras de alta (CH) e de baixa (CL) produz uma força no diafragma isolador, que é transmitida por um líquido de enchimento, provocando sua deformação e conseqüentemente alterando o valor das capacitâncias. Portanto, a célula capacitiva nada mais é que um sensor de pressão constituído por dois capacitores de capacitâncias variáveis, conforme a pressão diferencial aplicada. Tal variação é medida pelo circuito eletrônico que gera um sinal proporcional à pressão recebida pela câmara [40] [41].

A célula capacitiva fica próxima às rudes condições do processo, principalmente a temperatura do processo. Este inconveniente pode ser superado através de circuitos sensíveis a temperatura, montados juntos ao sensor [41].

Outra característica inerente à montagem é a falta de linearidade entre a capacitância e a distância das armaduras, devido á deformação não linear, portanto se faz necessário uma compensação (linearização) a cargo do circuito eletrônico [41].

## A.2 TT302- TRANSMISSOR DE TEMPERATURA FF

O TT302 é um transmissor de temperatura que aceita leituras de tensão em mV (termopares) ou de resistência em  $\Omega$  (termoresistores).

Estes são os elementos primários mais comuns, todavia sensores como pirômetros, células de carga, indicadores de posição, entre outros, podem ser conectados ao TT302 [49].

No caso da UEM o sensor primário de temperatura é a termoresistência tipo Pt100, baseados no princípio que a resistência do metal aumenta com o aumento de sua temperatura [49].

### A.3 DT302- TRANSMISSOR DE DENSIDADE FF

Os transmissores de densidade e concentração da série DT302 também usam sensores capacitivos (células capacitivas) assim como os transmissores de pressão [43].

O DT302 é composto por uma sonda com dois diafragmas repetidores inseridos no fluido de processo. A sonda é conectada no sensor capacitivo do transmissor, externo ao processo, pelos capilares. O fluido de enchimento do capilar transmite a pressão do processo nos dois diafragmas repetidores para o sensor de pressão diferencial. Há um sensor de temperatura na sonda localizado entre os dois diafragmas repetidores que faz a compensação automática de qualquer variação de temperatura do processo [43].

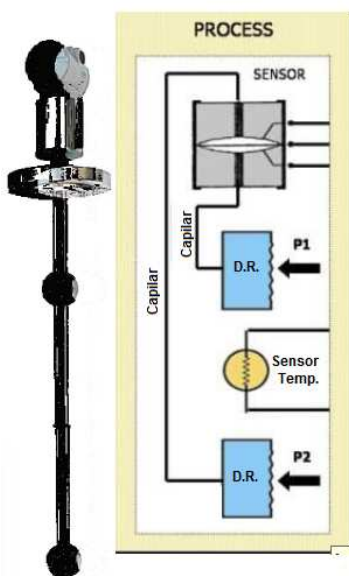


Figura 102 – Célula capacitiva do Transmissor de Densidade (extraído de [59]).

Este procedimento de compensação de temperatura na fábrica para a sonda e para o sensor de temperatura permite que pequenas variações de temperatura do processo sejam rapidamente informadas ao transmissor, que usando um *software* específico calcula com precisão o valor da densidade no processo através da relação da hidrostática, onde  $P = \rho \cdot g \cdot h$  (Figura 103) [43].

De acordo com o processo industrial, a concentração medida pelo DT302 pode ser expressa em Densidade, Densidade Relativa, Grau Brix, Grau Baumé, Grau INPM, Grau Plato ou % de Sólido [43].

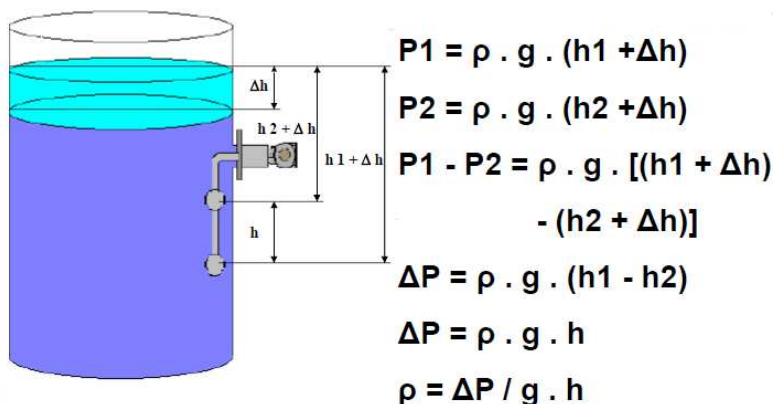


Figura 103 – Pressão Hidsrostática aplicada a Nível variável (extraído de [59]).

No caso da UEEM, o Transmissor de Densidade mede a interface de nível água-óleo do Tanque T-2. O princípio de medição é o mesmo mostrado acima, onde reorganizando a equação, tem-se:

$$h = \frac{\Delta P}{g \cdot \rho} \quad (41)$$

O  $\Delta P$  é medido pelo sensor, a gravidade ( $g$ ) e a densidade da água ( $\rho$ ) são conhecidas, assim é possível calcular o nível da interface água-óleo, todavia é essencial que o nível esteja entre os dois diafragmas repetidores.

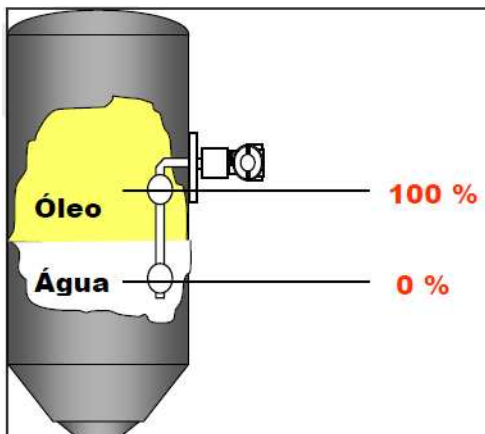


Figura 104 – Medição da Interface água-óleo utilizando o DT302 (extraído de [59]).

#### A.4 RD400- RADAR DE ONDA GUIADA 4 A 20mA

O Transmissor de Nível por Onda Guiada RD400 da Smar, possui tecnologia baseada no princípio da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR), utilizado, entre outras aplicações, para medição direta de níveis em processos industriais. Através de um gerador de radiofrequência localizado no interior do equipamento, pulsos eletromagnéticos são emitidos através de uma sonda em contato com o processo cujo nível deseja-se medir [44].

As ondas, ao entrarem em um meio com constante dielétrica diferente, retornam pela sonda graças à mudança da impedância desse meio. Este parâmetro é diretamente relacionado com a constante dielétrica do processo, sendo, portanto, fator decisivo na qualidade da reflexão da onda. Com um *software* dedicado, o transmissor de nível por onda guiada calcula continuamente o tempo de reflexão das ondas e conseqüentemente o nível do tanque [44].



Figura 105 – Pulsos gerados por emissor de radiofrequência (extraído de [44]).

Como este equipamento possui comunicação Hart – 4 a 20 mA, é necessário um conversor de corrente para FOUNDATION *Fieldbus* para que seja possível conectá-lo à rede digital.

#### A.5 IF302- CONVERSOR DE SINAL 4 A 20mA PARA FF

O IF302 permite a interligação de instrumentos com saída 4 a 20 mA ou 0 a 20mA à rede FOUNDATION *Fieldbus*. O IF302 recebe até três sinais em corrente e os torna disponíveis para o sistema *fieldbus*. Na UEEM são utilizados 2 IF302, sendo para receber do Radar de onda guiada e outro para receber os sinais 4 a 20mA dos inversores de frequência [45].

#### A.6 DVC6000- CONTROLADOR DIGITAL DE VÁLVULA FF

O controlador digital de válvula DVC6200f da Fisher possui um módulo principal que contém os seguintes sub-módulos: conversor de corrente para pneumático (I / P), placa de circuito impresso e um relé pneumático. A posição do relé é detectada pelo sensor do ímã localizado sobre o feixe do relé através de um detector na placa de circuito impresso que faz a conversão digital para pressão pneumática e posiciona a válvula de controle [46].

Assim, o controlador digital de válvula é um instrumento alimentado por barramento que fornece uma posição da válvula de controle em resposta a um ponto de ajuste digital da sala de controle [46].

#### A.7 8800D- MEDIÇÃO DE VAZÃO VORTEX FF

O medidor de vazão Rosemount 8800D Vortex consiste no corpo do medidor e transmissor, e mede a taxa de fluxo volumétrico detectando os vórtices criados por um fluido que passa pela barra de derramamento [47].

O corpo do medidor é instalado em linha com a tubulação do processo. Um sensor é localizado na extremidade da barra de derramamento e cria uma onda senoidal alternante devido aos vórtices de passagem. O transmissor mede a frequência das ondas senoidais e a converte em uma taxa de vazão [47].

#### A.8 8700- MEDIDOR MAGNÉTICO FF

O sistema do medidor de vazão eletromagnético série 8700 da Rosemount é formado por um sensor e transmissor, e mede a taxa de vazão volumétrica através da detecção da velocidade com a qual um líquido condutivo passa por um campo magnético [58].

O sensor é instalado em-linha, com tubulação de processo, tanto vertical como horizontalmente. As bobinas localizadas nos lados opostos do sensor criam um campo magnético. Os eletrodos localizados perpendicularmente às bobinas fazem contato com o fluido de processo. Um líquido condutivo que passa pelo campo magnético gera uma tensão nos dois eletrodos que é proporcional à velocidade da vazão [58].

O transmissor faz com que as bobinas gerem um campo magnético, e condiciona eletronicamente a tensão detectada pelos eletrodos a fornecer um sinal de vazão. O transmissor pode ser montado integral ou remotamente no sensor [58].

#### A.9 CFW08- INVERSOR DE FREQUÊNCIA 0 A 10V OU 4 A 20mA

No Inversor de Frequência, o sinal AC da rede elétrica é convertido em DC, e este novamente em AC, porém de forma pulsada e com largura modulada, dessa forma, é possível ajustar sua frequência e sua tensão, controlando assim a velocidade e torque do motor. A estrutura de potência de um inversor de frequência é mostrada na figura 106. Esta é composta basicamente por uma etapa retificadora, uma etapa de filtragem e uma etapa de chaveamento. [60]

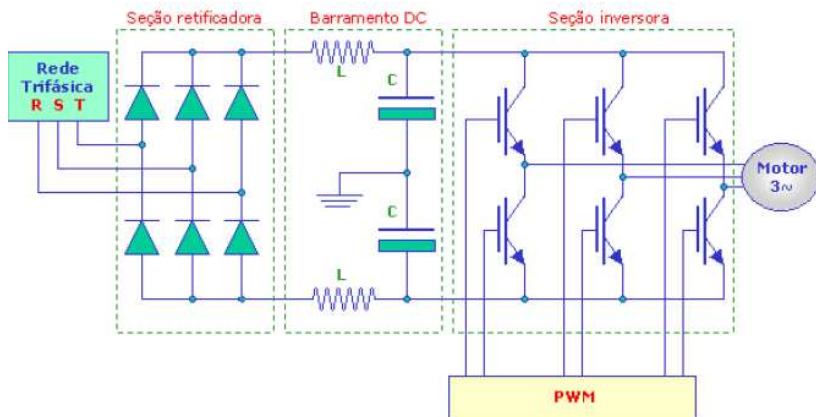


Figura 106 – Arquitetura básica do sistema de potência de inversor de frequência (extraído de [60]).

A seção retificadora consiste em uma ponte retificadora trifásica onde, seis diodos retificam a tensão trifásica da rede, proporcionando uma saída contínua, porém com certa ondulação que será minimizada pelo barramento DC. [60]

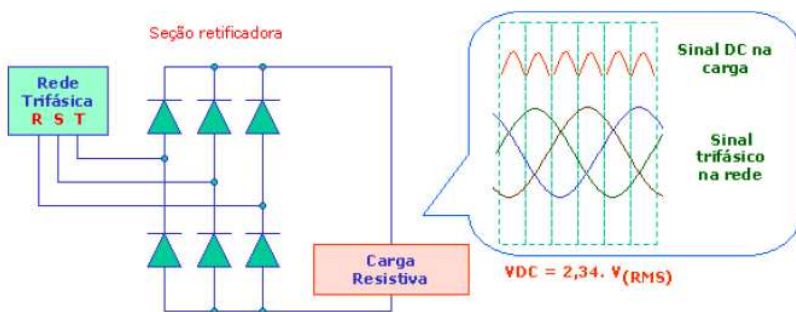


Figura 107 – Retificação do sinal AC proveniente da rede trifásica (extraído de [98]).

Depois de o sinal retificado, este será filtrado pelo barramento DC a fim de ser finalmente utilizado pela seção inversora. O filtro tem o objetivo de suavizar as ondulações geradas pelo circuito retificador. Na seção inversora um conjunto de 6 IGBT's (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) operam como chaves abertas (em corte) ou chaves fechadas (saturação) obedecendo a uma lógica previamente estabelecida de forma a gerarem sinais trifásicos defasados de  $120^\circ$  entre si. [60]



A velocidade de chaveamento dos IGBT's permite modular a frequência, já que  $F = 1/T$ , se o chaveamento foi rápido, o tempo para completar um ciclo será menor, o que aumenta a frequência e se o tempo de chaveamento for lento, a frequência consequentemente será reduzida. [60]

A velocidade dos motores de indução depende basicamente da frequência aplicada [60]:

$$\text{Velocidade (rpm)} = (120 * F) \div \text{número de pólos do motor} \quad (42)$$

O inversor de frequência possui ainda a interface eletrônica, a IHM e a CPU, sendo a última, a responsável pela geração da lógica de pulsos para os transistores, além de armazenar todos os parâmetros configurados na IHM do inversor. A interface eletrônica permite a comunicação com dispositivos externos, através de entradas e saídas para sinais analógicos, digitais e módulos de rede de comunicação [60].

## APÊNDICE B – PROCEDIMENTO PARA STARTUP DA UEEM

Este apêndice tem por objetivo citar os principais procedimentos para startup e manutenção da UEEM.

1. A bateria interna da DF63, localizada na sua parte traseira deve estar em modo ON, os LEDs de RUN e ETH10 devem estar acesos;
2. Para fazer ligação ponto-a-ponto (DF63 para computador) utiliza-se o cabo cross;
3. Para fazer ligação com switch (DF63 switch e daí para computador) utiliza-se o cabo de rede comum;
4. Os IP`s configurados para os controladores e Host são:




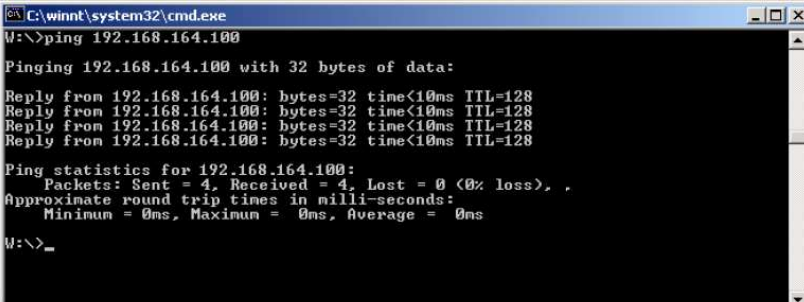
Tag	Id	Address
 DF63	000302002D:SMAR-DF63:2038	192.168.164.100
 DF75	000302002B:SMAR-DF75:633	192.168.164.102
 HSE HOST 1	0000000001:FF-HSE HOST:000000001	192.168.164.101

Figura 108 – IP`s e ID`s dos controladores e Host

5. Utilizar a ferramenta de comando PING para verificar a conectividade entre os controladores e o Host. Este pode ser realizado no prompt de comando DOS da seguinte forma:

No Windows: Inicializar -> Executar -> digitar “cmd” e em seguida “ping [IP address]” [enter].



```

C:\winnt\system32\cmd.exe
M:\>ping 192.168.164.100

Pinging 192.168.164.100 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.164.100: bytes=32 time<10ms TTL=128
Reply from 192.168.164.100: bytes=32 time<10ms TTL=128
Reply from 192.168.164.100: bytes=32 time<10ms TTL=128
Reply from 192.168.164.100: bytes=32 time<10ms TTL=128

Ping statistics for 192.168.164.100:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms

M:\>_
  
```

Figura 109 – Comando ping no prompt de comando DOS.

A Execução do comando Ping está mostrando conexão com sucesso, mensagem de resposta obtida (“Reply”).

6. Se na execução do comando Ping aparecer a mensagem de “Request time out” significa que comando enviado não recebeu nenhuma mensagem de volta do endereço IP selecionado.
7. Deve-se então verificar se a causa do problema é física (*Hardware*) ou de configuração (*Software*).
8. Verificar as conexões de rede entre os *Workstations* e o DFI. Os LEDs dos canais *Fieldbus* devem estar piscando. Verificar também os cabos de rede, se eles estão ligados da maneira correta (*Crossover* ou *Direto*). Caso o *Hardware* esteja ok:
9. Enviar um comando PING do computador em uso a outro IP da mesma subrede. Se a resposta for positiva, o problema esta no DFI – faça um *Factory Init*.
10. Com o *Factory Init* toda a configuração será perdida, mas o IP se manterá. Para tanto, mantenha o botão esquerdo pressionado e ao mesmo tempo pressione o botão direito certificando-se que o LED FORCE esteja piscando uma vez por segundo. O sistema efetuará um RESET geral deletando as configurações previamente estabelecidas.

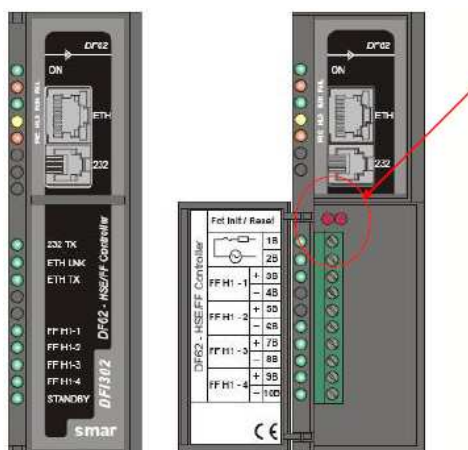


Figura 110 – Localização dos botões para realizar o *Factory Init*, *Hold* e *Reset* da CPU.

11. No caso de ainda assim, não haver resposta de nenhum dos IPs que deveriam estar respondendo, verifique a configuração do

computador Local em uso. No prompt de comando, execute o comando IPCONFIG: Inicializar, Executar, “cmd” e depois digite “ipconfig” [enter]

12. A configuração de rede deve aparecer – Verifique os endereços de IP e máscara de Subrede, e se o IP estiver na mesma subrede que o DFI e a máscara de subrede esta configurada igual em ambos os hosts (DFI e o computador) – Gateway não é necessário nesse caso.
13. Se tudo estiver aparentemente correto, tente reiniciar as conexões de rede no computador. Vá em Inicializar, Conexões de rede, desabilite e em seguida habilite novamente a conexão de rede.
14. Se tudo falhar, execute um PING no seu próprio endereço de IP. Em caso de erro, sua configuração esta incorreta – reconfigure suas propriedades de rede.
15. Para realização de backup da configuração vá em:



Figura 111 – Ícone para realização de backup no ambiente Studio302.

16. Para extração dos dados do backup no Syscon vá em:



Figura 112 – Ícone para realização de desempacotamento do backup.

## APÊNDICE C – CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA

Process Configuration, Area: Application

Process Cells:  
CONTROLES UEEM

Control Modules:  
CONTROLE NIVEL T1  
CONTROLE PRESSAO T1  
MONITORACOES VAZAO  
CONTROLE NIVEL INTERFACE T2  
MONITORACOES AR COMPRIMIDO

Control Module: CONTROLE NIVEL T1  
In Process Cell: CONTROLES UEEM

Blocks:  
LT-1\_1-AI-1  
LCV-1-PID-1  
LCV-1-AO-1  
LT-1-AI-1  
AALM-NIV-DF63  
FFB-DF63  
B-1-PID-1  
B-1-AO-1  
B-2-PID-1  
B-2-AO-1  
CONTROLE NIVEL T1-2-AO-1-1  
CONTROLE NIVEL T1-2-AO-1-1-1  
CONTROLE NIVEL T1-2-AO-1-1-1-1  
LCV-1-BLK-2

Control Module: CONTROLE PRESSAO T1  
In Process Cell: CONTROLES UEEM

Blocks:  
PT-1-AI-1  
PCV-1-PID-1  
PCV-1-AO-1

Control Module: MONITORACOES VAZAO  
In Process Cell: CONTROLES UEEM

Blocks:

FT-4-AI-1

FT-5-AI-1

Control Module: CONTROLE NIVEL INTERFACE T2

In Process Cell: CONTROLES UEEM

Blocks:

LT-2-AI-1

LCV-2-PID-1

LCV-2-AO-1

AALM-INTERFACE-DF63

Control Module: MONITORACOES AR COMPRIMIDO

In Process Cell: CONTROLES UEEM

Blocks:

FT-3-AI-1

FCV-3-AO-1

TT-3-AI-1

PT-3-AI-1

Fieldbus: HSE Network 1

Device: HSE HOST 1

Id: 000000001:FF-HSE HOST:00000001

BOF Class: Bridge

Device: DF63

Id: 000302002D:SMAR-DF63:2038

BOF Class: Bridge

Ports:

1: CANAL\_1 (Active)

2: CANAL\_2 (Active)

3: CANAL\_3\_DEFEITO (Active)

4: CANAL\_4 (Active)

5: HSE Network 1 (Active)

Device: DF75

Id: 000302002B:SMAR-DF75:633

BOF Class: Basic

Fieldbus: CANAL\_1

Device: LT-1\_1

Id: 0003020001:SMAR-LD302:00024465

BOF Class: Link Master

Device: LCV-1

Id: 0051006000FisherDVC0070209330682

BOF Class: Basic

Device: LT-1

Id: 0003020003:SMAR-IF302:00421388

BOF Class: Basic

Device: PT-1

Id: 0003020001:SMAR-LD302:00024654

BOF Class: Basic

Device: PCV-1

Id: 0051006000FisherDVC0070209362311

BOF Class: Basic

Fieldbus: CANAL\_2

Device: LT-2

Id: 000302000e:SMAR-DT302:00022409

BOF Class: Link Master

Device: LCV-2

Id: 0051006000FisherDVC0070209232186

BOF Class: Basic

Device: FT-3

Id: 0003020001:SMAR-LD302:00024739

BOF Class: Basic

Device: TT-3

Id: 0003020002:SMAR-TT302:00421832  
BOF Class: Basic

Device: FCV-3

Id: 0051006000FisherDVC0070209350198  
BOF Class: Basic

Device: B-1\_B-2

Id: 0003020005:SMAR-FI302:0064277  
BOF Class: Basic

Device: PT-3

Id: 0003020001:SMAR-LD302:000814375  
BOF Class: Link Master

Fieldbus: CANAL\_3\_DEFEITO

Fieldbus: CANAL\_4

Device: FT-4

Id: 0011518732-EPM-RFD0039D522549951  
BOF Class: Link Master

Device: FT-5

Id: 0011518800-EPM-RFD0017612DEA1041  
BOF Class: Basic

11 Heading 1 Block List

Block: DF63-RB-1  
No Control Module.  
From Device: DF63

Initialized Parameters:  
    MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: DF63-DIAG-1  
No Control Module.  
From Device: DF63



Block Type: Diagnostics Transducer  
Profile: 0x8018

Initialized Parameters:  
    MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: DF63-TRDRED-1  
No Control Module.  
From Device: DF63  
Block Type: Redundancy Transducer

Initialized Parameters:  
    MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: LT-1\_1-RB-1  
No Control Module.  
From Device: LT-1\_1  
Block Type: Resource Block

Initialized Parameters:  
    MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: LT-1\_1-BLK-1  
No Control Module.  
From Device: LT-1\_1  
Block Type: Transducer

Initialized Parameters:  
    MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: LT-1\_1-TRDDSP-1  
No Control Module.  
From Device: LT-1\_1  
Block Type: Display

Initialized Parameters:  
    MODE\_BLK.TARGET = Auto  
    BLOCK\_TAG\_PARAM\_1 = LT-1\_1-AI-1  
    INDEX\_RELATIVE\_1 = 8  
    MNEMONIC\_1 = NIVEL  
    DISPLAY\_REFRESH = Update Display.

Block: LT-1\_1-DIAG-1  
No Control Module.  
From Device: LT-1\_1

Block Type: Diagnostics Transducer

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: LT-1\_1-AI-1

From Control Module: CONTROLE NIVEL T1

From Device: LT-1\_1

Block Type: Analog Input

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

MODE\_BLK.PERMITTED = Auto:Man:OOS

XD\_SCALE.EU\_100 = 0

XD\_SCALE.EU\_0 = -2200

XD\_SCALE.UNITS\_INDEX = mmH2O (4°C)

OUT\_SCALE.EU\_100 = 100

OUT\_SCALE.EU\_0 = 0

OUT\_SCALE.UNITS\_INDEX = %

CHANNEL = 1

L\_TYPE = Indirect

Block: LCV-1-RB-1

No Control Module.

From Device: LCV-1

Block Type: Resource Block 2

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: LCV-1-BLK-1

No Control Module.

From Device: LCV-1

Block Type: Transducer Block

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: LCV-1-PID-1

From Control Module: CONTROLE NIVEL T1

From Device: LCV-1

Block Type: PID Control

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

MODE\_BLK.PERMITTED = Auto:Man:OOS  
 SP.VALUE = 60  
 PV\_SCALE.EU\_100 = 2500  
 PV\_SCALE.EU\_0 = 0  
 PV\_SCALE.UNITS\_INDEX = mmH2O (4°C)  
 OUT\_SCALE.EU\_100 = 100  
 OUT\_SCALE.EU\_0 = 0  
 OUT\_SCALE.UNITS\_INDEX = %  
 GAIN = 3  
 RESET = 20  
 RATE = 0  
 CONTROL\_OPTS = Direct acting  
 SP\_HI\_LIM = 100

Block: LCV-1-AO-1  
 From Control Module: CONTROLE NIVEL T1  
 From Device: LCV-1  
 Block Type: Analog Output

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Cas:Auto  
 PV\_SCALE.EU\_100 = 100  
 PV\_SCALE.EU\_0 = 0  
 PV\_SCALE.UNITS\_INDEX = %  
 XD\_SCALE.EU\_100 = 100  
 XD\_SCALE.EU\_0 = 0  
 XD\_SCALE.UNITS\_INDEX = %  
 SP.VALUE = 100

Block: LT-1-RB-1  
 No Control Module.  
 From Device: LT-1  
 Block Type: Resource Block

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: LT-1-TRDIF-1  
 No Control Module.  
 From Device: LT-1  
 Block Type: Transducer

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto  
 TERMINAL\_NUMBER = 1

PRIMARY\_VALUE\_RANGE.EU\_100 = 2500  
PRIMARY\_VALUE\_RANGE.EU\_0 = 0  
PRIMARY\_VALUE\_RANGE.UNITS\_INDEX = mmH2O (4°C)

Block: LT-1-TRDIF-2  
No Control Module.  
From Device: LT-1  
Block Type: Transducer

Initialized Parameters:  
MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: LT-1-TRDIF-3  
No Control Module.  
From Device: LT-1  
Block Type: Transducer

Initialized Parameters:  
MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: LT-1-TRDDSP-1  
No Control Module.  
From Device: LT-1  
Block Type: Display

Initialized Parameters:  
MODE\_BLK.TARGET = Auto  
BLOCK\_TAG\_PARAM\_1 = LT-1-AI-1  
INDEX\_RELATIVE\_1 = 8  
SUB\_INDEX\_1 = 2  
MNEMONIC\_1 = NIVEL  
ACCESS\_1 = Monitoring  
ALPHA\_NUM\_1 = Mnemonic  
DISPLAY\_REFRESH = Update Display.

Block: LT-1-DIAG-1  
No Control Module.  
From Device: LT-1  
Block Type: Diagnostics Transducer

Initialized Parameters:  
MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: LT-1-AI-1  
From Control Module: CONTROLE NIVEL T1

From Device: LT-1  
Block Type: Analog Input

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto  
XD\_SCALE.EU\_100 = 20  
XD\_SCALE.EU\_0 = 4  
XD\_SCALE.UNITS\_INDEX = mA  
OUT\_SCALE.EU\_100 = 100  
OUT\_SCALE.EU\_0 = 0  
OUT\_SCALE.UNITS\_INDEX = %  
CHANNEL = 3  
L\_TYPE = Indirect

Block: PT-1-RB-1  
No Control Module.  
From Device: PT-1  
Block Type: Resource Block

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: PT-1-BLK-1  
No Control Module.  
From Device: PT-1  
Block Type: Transducer

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: PT-1-TRDDSP-1  
No Control Module.  
From Device: PT-1  
Block Type: Display

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto  
BLOCK\_TAG\_PARAM\_1 = PT-1-AI-1  
INDEX\_RELATIVE\_1 = 8  
SUB\_INDEX\_1 = 2  
MNEMONIC\_1 = PRESSAO  
ACCESS\_1 = Monitoring  
ALPHA\_NUM\_1 = Mnemonic  
DISPLAY\_REFRESH = Update Display.

Block: PT-1-DIAG-1  
No Control Module.  
From Device: PT-1  
Block Type: Diagnostics Transducer

Initialized Parameters:  
    MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: PCV-1-RB-1  
No Control Module.  
From Device: PCV-1  
Block Type: Resource Block 2

Initialized Parameters:  
    MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: PCV-1-BLK-1  
No Control Module.  
From Device: PCV-1  
Block Type: Transducer Block

Initialized Parameters:  
    MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: PT-1-AI-1  
From Control Module: CONTROLE PRESSAO T1  
From Device: PT-1  
Block Type: Analog Input

Initialized Parameters:  
    MODE\_BLK.TARGET = Auto  
    XD\_SCALE.EU\_100 = 25  
    XD\_SCALE.EU\_0 = 0  
    XD\_SCALE.UNITS\_INDEX = bar  
    OUT\_SCALE.EU\_100 = 25  
    OUT\_SCALE.EU\_0 = 0  
    OUT\_SCALE.UNITS\_INDEX = bar

Block: PCV-1-PID-1  
From Control Module: CONTROLE PRESSAO T1  
From Device: PCV-1  
Block Type: PID Control

Initialized Parameters:  
    MODE\_BLK.TARGET = Auto

MODE\_BLK.PERMITTED = Auto:Man:OOS  
SP.VALUE = 1  
GAIN = 5  
RESET = 5  
PV\_SCALE.EU\_100 = 25  
PV\_SCALE.EU\_0 = 0  
PV\_SCALE.UNITS\_INDEX = bar  
OUT\_SCALE.EU\_100 = 100  
OUT\_SCALE.EU\_0 = 0  
OUT\_SCALE.UNITS\_INDEX = %  
CONTROL\_OPTS = Direct acting

Block: PCV-1-AO-1  
From Control Module: CONTROLE PRESSAO T1  
From Device: PCV-1  
Block Type: Analog Output

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Cas:Auto  
PV\_SCALE.EU\_100 = 100  
PV\_SCALE.EU\_0 = 0  
PV\_SCALE.UNITS\_INDEX = %  
XD\_SCALE.EU\_100 = 100  
XD\_SCALE.EU\_0 = 0  
XD\_SCALE.UNITS\_INDEX = %  
SP.VALUE = 0  
CHANNEL = Setpoint  
SHED\_OPT = Uninitialized

Block: LT-2-RB-1  
No Control Module.  
From Device: LT-2  
Block Type: Resource Block

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: LT-2-BLK-1  
No Control Module.  
From Device: LT-2  
Block Type: Transducer

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: LT-2-TRDDSP-1

No Control Module.

From Device: LT-2

Block Type: Display

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

BLOCK\_TAG\_PARAM\_1 = LT-2-AI-1

INDEX\_RELATIVE\_1 = 8

SUB\_INDEX\_1 = 2

MNEMONIC\_1 = INTERFACE

ACCESS\_1 = Monitoring

ALPHA\_NUM\_1 = Mnemonic

DISPLAY\_REFRESH = Update Display.

Block: LT-2-DIAG-1

No Control Module.

From Device: LT-2

Block Type: Diagnostics Transducer

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: LCV-2-RB-1

No Control Module.

From Device: LCV-2

Block Type: Resource Block 2

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: LCV-2-BLK-1

No Control Module.

From Device: LCV-2

Block Type: Transducer Block

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: LT-2-AI-1

From Control Module: CONTROLE NIVEL INTERFACE T2

From Device: LT-2

Block Type: Analog Input

Initialized Parameters:



MODE\_BLK.TARGET = Auto  
OUT\_SCALE.EU\_100 = 100  
OUT\_SCALE.EU\_0 = 0  
OUT\_SCALE.UNITS\_INDEX = %  
CHANNEL = 1  
L\_TYPE = Indirect  
XD\_SCALE.EU\_100 = 997  
XD\_SCALE.EU\_0 = 852

Block: LCV-2-PID-1  
From Control Module: CONTROLE NIVEL INTERFACE T2  
From Device: LCV-2  
Block Type: PID Control

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto  
MODE\_BLK.PERMITTED = Auto:Man  
SP.VALUE = 50  
PV\_SCALE.EU\_100 = 100  
PV\_SCALE.EU\_0 = 0  
PV\_SCALE.UNITS\_INDEX = %  
OUT\_SCALE.EU\_100 = 100  
OUT\_SCALE.EU\_0 = 0  
OUT\_SCALE.UNITS\_INDEX = %  
GAIN = 1  
RESET = 8

Block: LCV-2-AO-1  
From Control Module: CONTROLE NIVEL INTERFACE T2  
From Device: LCV-2  
Block Type: Analog Output

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Cas:Auto  
PV\_SCALE.EU\_100 = 100  
PV\_SCALE.EU\_0 = 0  
PV\_SCALE.UNITS\_INDEX = %  
XD\_SCALE.EU\_100 = 100  
XD\_SCALE.EU\_0 = 0  
XD\_SCALE.UNITS\_INDEX = %  
SP.VALUE = 0

Block: FT-3-RB-1  
No Control Module.  
From Device: FT-3

Block Type: Resource Block

Profile: 0x0133

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: FT-3-BLK-1

No Control Module.

From Device: FT-3

Block Type: Transducer

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: FT-3-TRDDSP-1

No Control Module.

From Device: FT-3

Block Type: Display

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

BLOCK\_TAG\_PARAM\_1 = FT-3-AI-1

INDEX\_RELATIVE\_1 = 8

SUB\_INDEX\_1 = 2

MNEMONIC\_1 = PRESSAO

ACCESS\_1 = Monitoring

ALPHA\_NUM\_1 = Mnemonic

DISPLAY\_REFRESH = Update Display.

Block: FT-3-DIAG-1

No Control Module.

From Device: FT-3

Block Type: Diagnostics Transducer

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: TT-3-RB-1

No Control Module.

From Device: TT-3

Block Type: Resource Block

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: TT-3-BLK-1  
No Control Module.  
From Device: TT-3  
Block Type: Transducer

Initialized Parameters:  
    MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: TT-3-BLK-2  
No Control Module.  
From Device: TT-3  
Block Type: Transducer

Initialized Parameters:  
    MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: TT-3-TRDDSP-1  
No Control Module.  
From Device: TT-3  
Block Type: Display

Initialized Parameters:  
    MODE\_BLK.TARGET = Auto  
    BLOCK\_TAG\_PARAM\_1 = TT-3-AI-1  
    INDEX\_RELATIVE\_1 = 8  
    SUB\_INDEX\_1 = 2  
    MNEMONIC\_1 = TEMP  
    ACCESS\_1 = Monitoring  
    ALPHA\_NUM\_1 = Mnemonic  
    DISPLAY\_REFRESH = Update Display.

Block: TT-3-DIAG-1  
No Control Module.  
From Device: TT-3  
Block Type: Diagnostics Transducer

Initialized Parameters:  
    MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: FCV-3-RB-1  
No Control Module.  
From Device: FCV-3  
Block Type: Resource Block 2

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: FCV-3-BLK-1  
No Control Module.  
From Device: FCV-3  
Block Type: Transducer Block

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto  
FINAL\_VALUE.VALUE = 50.0  
FINAL\_VALUE\_CUTOFF\_LO = -25.0  
SERVO\_GAIN = 1.0  
SERVO\_RATE = 5.0  
BASIC\_SETUP.FEEDBACK\_CONN = Rotary All  
BASIC\_SETUP.MAX\_SUPP\_PRESS = 35.0  
BASIC\_SETUP.PRESS\_RANGE\_HI = 22.5  
BASIC\_SETUP.PRESS\_RANGE\_LO = 5.7  
BASIC\_SETUP.TVL\_TUNING\_SET = X  
TRAVEL\_TUNE.TVL\_INTEG\_ENABLE = On  
TRAVEL\_TUNE.TVL\_MLFB\_GAIN = 27.0

Block: B-1\_B-2-RB-1  
No Control Module.  
From Device: B-1\_B-2  
Block Type: Resource Block

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: B-1\_B-2-BLK-1  
No Control Module.  
From Device: B-1\_B-2  
Block Type: Transducer

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto  
TERMINAL\_NUMBER = 1

Block: B-1\_B-2-BLK-2  
No Control Module.  
From Device: B-1\_B-2  
Block Type: Transducer

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

TERMINAL\_NUMBER = 2

Block: B-1\_B-2-BLK-3

No Control Module.

From Device: B-1\_B-2

Block Type: Transducer

Profile: 0x801E

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: B-1\_B-2-TRDDSP-1

No Control Module.

From Device: B-1\_B-2

Block Type: Display

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

BLOCK\_TAG\_PARAM\_1 = B-1-AO-1

INDEX\_RELATIVE\_1 = 8

SUB\_INDEX\_1 = 2

MNEMONIC\_1 = BOMBA1

ALPHA\_NUM\_1 = Mnemonic

ACCESS\_1 = Monitoring

BLOCK\_TAG\_PARAM\_2 = B-2-AO-1

INDEX\_RELATIVE\_2 = 8

SUB\_INDEX\_2 = 2

MNEMONIC\_2 = BOMBA2

DISPLAY\_REFRESH = Update Display.

Block: B-1\_B-2-DIAG-1

No Control Module.

From Device: B-1\_B-2

Block Type: Diagnostics Transducer

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: FT-3-AI-1

From Control Module: MONITORACOES AR COMPRIMIDO

From Device: FT-3

Block Type: Analog Input

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

OUT\_SCALE.EU\_100 = 25  
OUT\_SCALE.EU\_0 = 0  
OUT\_SCALE.UNITS\_INDEX = bar  
L\_TYPE = Indirect  
XD\_SCALE.EU\_100 = 25  
XD\_SCALE.UNITS\_INDEX = bar

Block: TT-3-AI-1  
From Control Module: MONITORACOES AR COMPRIMIDO  
From Device: TT-3  
Block Type: Analog Input

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto  
XD\_SCALE.EU\_100 = 550  
XD\_SCALE.EU\_0 = 0  
XD\_SCALE.UNITS\_INDEX = °C  
OUT\_SCALE.EU\_100 = 550  
OUT\_SCALE.EU\_0 = 0  
OUT\_SCALE.UNITS\_INDEX = °C  
CHANNEL = 1  
L\_TYPE = Direct

Block: FCV-3-AO-1  
From Control Module: MONITORACOES AR COMPRIMIDO  
From Device: FCV-3  
Block Type: Analog Output

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Man  
MODE\_BLK.PERMITTED = Cas:Auto:Man:OOS  
PV\_SCALE.EU\_100 = 100  
PV\_SCALE.EU\_0 = 0  
PV\_SCALE.UNITS\_INDEX = %  
CHANNEL = Setpoint  
SHED\_OPT = ShedToAuto\_NoReturn  
XD\_SCALE.EU\_100 = 100  
XD\_SCALE.EU\_0 = 0  
XD\_SCALE.UNITS\_INDEX = %

Block: FFB-DF63  
From Control Module: CONTROLE NIVEL T1  
From Device: DF63  
Block Type: FFB\_1131

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: AALM-NIV-DF63

From Control Module: CONTROLE NIVEL T1

From Device: DF63

Block Type: Analog Alarm

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

OUT\_RANGE.EU\_100 = 100

OUT\_RANGE.EU\_0 = 0

OUT\_RANGE.UNITS\_INDEX = %

OUT\_ALM\_SUM = HI

HI\_LIM = 80

ALARM\_SUM.DISABLED = HiHi Alm Disabled:LoLo Alm

Disabled:Lo Alm Disabled:Block Alm Disabled

Block: B-1-PID-1

From Control Module: CONTROLE NIVEL T1

From Device: B-1\_B-2

Block Type: PID Control

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Man

SP.VALUE = 0

PV\_SCALE.EU\_100 = 100

PV\_SCALE.EU\_0 = 0

PV\_SCALE.UNITS\_INDEX = %

OUT\_SCALE.EU\_100 = 100

OUT\_SCALE.EU\_0 = 0

OUT\_SCALE.UNITS\_INDEX = %

CONTROL\_OPTS = Track enable

Block: B-1-AO-1

From Control Module: CONTROLE NIVEL T1

From Device: B-1\_B-2

Block Type: Analog Output

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Cas:Auto

PV\_SCALE.EU\_100 = 100

PV\_SCALE.EU\_0 = 0

PV\_SCALE.UNITS\_INDEX = %

XD\_SCALE.EU\_100 = 20  
XD\_SCALE.EU\_0 = 4  
XD\_SCALE.UNITS\_INDEX = mA  
CHANNEL = 1  
SP.VALUE = 5

Block: B-2-PID-1  
From Control Module: CONTROLE NIVEL T1  
From Device: B-1\_B-2  
Block Type: PID Control

Initialized Parameters:  
MODE\_BLK.TARGET = Man  
PV\_SCALE.EU\_100 = 100  
PV\_SCALE.EU\_0 = 0  
PV\_SCALE.UNITS\_INDEX = %  
OUT\_SCALE.EU\_100 = 100  
OUT\_SCALE.EU\_0 = 0  
OUT\_SCALE.UNITS\_INDEX = %  
CONTROL\_OPTS = Track enable

Block: B-2-AO-1  
From Control Module: CONTROLE NIVEL T1  
From Device: B-1\_B-2  
Block Type: Analog Output

Initialized Parameters:  
MODE\_BLK.TARGET = Cas:Auto  
PV\_SCALE.EU\_100 = 100  
PV\_SCALE.EU\_0 = 0  
PV\_SCALE.UNITS\_INDEX = %  
XD\_SCALE.EU\_100 = 20  
XD\_SCALE.EU\_0 = 4  
XD\_SCALE.UNITS\_INDEX = mA  
CHANNEL = 3

Block: CONTROLE NIVEL T1-2-AO-1-1  
From Control Module: CONTROLE NIVEL T1  
No Device.  
Block Type: Analog Output  
Profile: 0x0102

Initialized Parameters:  
MODE\_BLK.TARGET = Cas:Auto  
PV\_SCALE.EU\_100 = 100



```

PV_SCALE.EU_0 = 0
PV_SCALE.UNITS_INDEX = %
XD_SCALE.EU_100 = 20
XD_SCALE.EU_0 = 4
XD_SCALE.UNITS_INDEX = mA
CHANNEL = 2

```

Block: CONTROLE NIVEL T1-2-AO-1-1-1  
 From Control Module: CONTROLE NIVEL T1  
 No Device.  
 Block Type: Analog Output

Initialized Parameters:

```

MODE_BLK.TARGET = Cas:Auto
PV_SCALE.EU_100 = 100
PV_SCALE.EU_0 = 0
PV_SCALE.UNITS_INDEX = %
XD_SCALE.EU_100 = 20
XD_SCALE.EU_0 = 4
XD_SCALE.UNITS_INDEX = mA
CHANNEL = 2

```

Block: CONTROLE NIVEL T1-2-AO-1-1-1-1  
 From Control Module: CONTROLE NIVEL T1  
 No Device.  
 Block Type: Analog Output

Initialized Parameters:

```

MODE_BLK.TARGET = Cas:Auto
PV_SCALE.EU_100 = 100
PV_SCALE.EU_0 = 0
PV_SCALE.UNITS_INDEX = %
XD_SCALE.EU_100 = 20
XD_SCALE.EU_0 = 4
XD_SCALE.UNITS_INDEX = mA
CHANNEL = 2

```

Block: AALM-INTERFACE-DF63  
 From Control Module: CONTROLE NIVEL INTERFACE T2  
 From Device: DF63  
 Block Type: Analog Alarm

Initialized Parameters:

```

MODE_BLK.TARGET = Auto
OUT_RANGE.EU_100 = 100

```

OUT\_RANGE.EU\_0 = 0  
OUT\_RANGE.UNITS\_INDEX = %  
OUT\_ALM\_SUM = HI  
HI\_LIM = 90

Block: FT-4-RB-1  
No Control Module.  
From Device: FT-4  
Block Type: Resource Block 2  
Profile: 0x0133

Initialized Parameters:  
MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: FT-4-BLK-1  
No Control Module.  
From Device: FT-4  
Block Type: Transducer Block

Initialized Parameters:  
MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: FT-4-AI-1  
From Control Module: MONITORACOES VAZAO  
From Device: FT-4  
Block Type: Analog Input

Initialized Parameters:  
MODE\_BLK.TARGET = Auto  
XD\_SCALE.EU\_100 = 10  
XD\_SCALE.EU\_0 = 0  
XD\_SCALE.UNITS\_INDEX = m<sup>3</sup>/h  
OUT\_SCALE.EU\_100 = 10  
OUT\_SCALE.EU\_0 = 0  
OUT\_SCALE.UNITS\_INDEX = m<sup>3</sup>/h  
CHANNEL = Flow  
L\_TYPE = Indirect Sq Root

Block: FT-5-AI-1  
From Control Module: MONITORACOES VAZAO  
From Device: FT-5  
Block Type: Analog Input

Initialized Parameters:  
MODE\_BLK.TARGET = Auto

XD\_SCALE.EU\_100 = 5  
XD\_SCALE.EU\_0 = 0  
XD\_SCALE.UNITS\_INDEX = m<sup>3</sup>/h  
OUT\_SCALE.EU\_100 = 5  
OUT\_SCALE.EU\_0 = 0  
OUT\_SCALE.UNITS\_INDEX = m<sup>3</sup>/h  
L\_TYPE = Indirect Sq Root

Block: FT-5-BLK-1  
No Control Module.  
From Device: FT-5  
Block Type: Resource Block 2

Initialized Parameters:  
MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: FT-5-BLK-2  
No Control Module.  
From Device: FT-5  
Block Type: Transducer Block

Initialized Parameters:  
MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: PT-3-TRDDSP-1  
No Control Module.  
From Device: PT-3  
Block Type: Display

Initialized Parameters:  
MODE\_BLK.TARGET = Auto  
BLOCK\_TAG\_PARAM\_1 = PT-3-AI-1  
INDEX\_RELATIVE\_1 = 8  
SUB\_INDEX\_1 = 2  
MNEMONIC\_1 = PRESSAO  
ACCESS\_1 = Monitoring  
ALPHA\_NUM\_1 = Mnemonic  
DISPLAY\_REFRESH = Update Display.

Block: PT-3-DIAG-1  
No Control Module.  
From Device: PT-3  
Block Type: Diagnostics Transducer

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: PT-3-AI-1

From Control Module: MONITORACOES AR COMPRIMIDO

From Device: PT-3

Block Type: Analog Input

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

MODE\_BLK.PERMITTED = Auto:Man

XD\_SCALE.EU\_100 = 25

XD\_SCALE.EU\_0 = 0

XD\_SCALE.UNITS\_INDEX = bar

OUT\_SCALE.EU\_100 = 25

OUT\_SCALE.EU\_0 = 0

OUT\_SCALE.UNITS\_INDEX = bar

L\_TYPE = Direct

Block: PT-3-RB-1

No Control Module.

From Device: PT-3

Block Type: Resource Block

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: PT-3-BLK-1

No Control Module.

From Device: PT-3

Block Type: Transducer

Profile: 0x801B

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: LCV-1-BLK-2

From Control Module: CONTROLE NIVEL T1

From Device: LCV-1

Block Type: Input Selector

Initialized Parameters:

MODE\_BLK.TARGET = Auto

SELECT\_TYPE = Average

Block: DF75-RB-1

No Control Module.  
From Device: DF75  
Block Type: Resource Block 2

Initialized Parameters:  
    MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: DF75-DIAG-1  
No Control Module.  
From Device: DF75  
Block Type: Diagnostics Transducer

Initialized Parameters:  
    MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: DF75-TRDRED-1  
No Control Module.  
From Device: DF75  
Block Type: Redundancy Transducer

Initialized Parameters:  
    MODE\_BLK.TARGET = Auto

Block: FFB-DF75  
No Control Module.  
From Device: DF75  
Block Type: FFB\_1131

Initialized Parameters:  
    MODE\_BLK.TARGET = Auto

## REFERÊNCIAS

- [1] ALBUQUERQUE, A. C. M. L. Redes Industriais: *Fieldbus e DeviceNet*. Departamento de Engenharia de Computação e Automação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- [2] LUGLI, A. B., SANTOS M. M. D.. REDES INDUSTRIAIS: Evolução, Motivação e Funcionamento. *Intech*, América do Sul.
- [3] JUNIOR, A. P. A.; CHAGAS C. V. C.; FERNANDES R. G. Ethernet e Fieldbus Foundation no ambiente industrial. *Redes para Automação Industrial*, 2013.
- [4] SANTANA M. O Protocolo Foundation Fieldbus na Indústria de Processo. *Sinergia*, São Paulo, 2007.
- [5] STEMMER, M. R. Redes Locais Industriais: a integração da produção através da redes de omunicação. Florianópolis: Ed. UFSC, 2010. 271 p.
- [6] CASSIOLATO, César. Redes Industriais. *Smar Equipamentos Industriais Ltda*, 2011.
- [7] PASETTI, G. *Instrumentação, Controle e Supervisão de uma coluna de destilação piloto utilizando tecnologia Foundation Fieldbus*. 2005. 195 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2005.
- [8] FILHO, Constantino Seixas. *Fieldbus Foundation*. Technical Report, UFMG, Departamento de Engenharia Eletrônica.
- [9] VERHAPPEN I. PEREIRA A. Foundation Fieldbus. ISA, quarta edição, 2013. 221p.
- [10] GESSNER, T. R. *Modelagem numérica de escoamento anular gás líquido transiente pelo método da divisão da matriz de coeficientes*. 2013. 207 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2013.

- [11] FIELDBUS UNIVERSAL BRIDGE. *Manual do Usuário*. Sertãozinho: Smar Equipamentos Industriais Ltda, 2013. 640 p.
- [12] Cleiton Moya de Almeida. Projeto de uma unidade para pesquisa de medição e controle de escoamento multifásico. Technical report, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.
- [13] Departamento de Treinamento. *Instalações Foundation Fieldbus*. Sertãozinho: Smar Equipamentos Industriais, 2014.
- [14] SYSTEM 302 STUDIO, *Manual do Usuário*. Sertãozinho: Smar Equipamentos Industriais Ltda, 2005. 66 p.
- [15] SYSCON SYSTEM CONFIGURATOR, *Installation and Operation Manual*. Sertãozinho: Smar Equipamentos Industriais Ltda, 2013. 174 p.
- [16] LOGIC VIEW FOR FFB, *User Manual*. Sertãozinho: Smar Equipamentos Industriais Ltda, 2013. 290 p.
- [17] Departamento de Treinamento. *System 302 Enterprise Automation*. Sertãozinho: Smar Equipamentos Industriais, 2014.
- [18] MOTA, R. M. F. *Contribuições para o desenvolvimento de um sistema de medição multifásica com estágio de separação parcial*. 2011. 230 f. Dissertação (Mestrado em Automação e Sistemas) – Departamento de Automação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2011.
- [19] MAYA, P. A.; LEONARDI, F. *Controle Essencial*. São Paulo, Pearson, 2011. 344p.
- [20] MANUAL DE INSTRUÇÕES DOS BLOCOS FUNCIONAIS LIBRARY A. Sertãozinho: Smar Equipamentos Industriais Ltda, 2010. 338 p.
- [21] PACHECO F.; CAVALCANTE C. C.; MENDES J. R.; Identificação de Escoamento Multifásico e determinação da perda de carga com o auxílio de redes neurais. *4 PDPETRO*, Campinas, 2007.
- [22] MOTA F. R.; PAGANO J. D.; DIAS M. A. D. *Development of an Electrical Capacitance Tomometry System using Rotating Electrodes*

*and Image Reconstruction Algorithms*. Submitted Article. IEEE Transactions on Instrumentation and measurement, 2015.

[23] Installing Fieldbus. *Moore Industries International Inc. 2008*. 10 p.

[24] Departamento de Treinamento. *Ajustes do LAS Bridge FF (DF62/DF63)*. Sertãozinho: Smar Equipamentos Industriais, 2014.

[25] CASSIOLATO, César. EMI – Interferência Eletromagnética em instalações industriais e muito mais. *Smar Equipamentos Industriais Ltda*, 2011.

[26] IMPEDÂNCIA PARA FIELDBUS DF63/DF98. *Manual do Usuário*. Sertãozinho: Smar Equipamentos Industriais Ltda, 2013. 10 p.

[27] ESTABILIZADOR DE PARTIDA PARA IMB DF84. *Manual do Usuário*. Sertãozinho: Smar Equipamentos Industriais Ltda, 2006. 4 p.

[28] CASSIOLATO, César. A importância dos terminadores de barramento na rede Profibus. *Smar Equipamentos Industriais Ltda*, 2011.

[29] CASSIOLATO, César. Minimizando Ruídos em instalações Profibus. *Smar Equipamentos Industriais Ltda*, 2011.

[30] Shana Geyger Boof. Projeto de intertravamento da unidade de pesquisa de medição e controle de escoamento multifásico. Technical report, Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

[31] MANUAL DE INSTRUÇÕES DOS BLOCOS FUNCIONAIS LIBRARY B. Sertãozinho: Smar Equipamentos Industriais Ltda, 2014. 346 p.

[32] LOURENÇO, João. Sintonia de Controladores P.I.D. *Escola Superior de Tecnologia*, 1997.

[33] CASSIOLATO, César. Como a blindagem pode ajudar a minimizar ruídos. *Smar Equipamentos Industriais Ltda*, 2011.

[34] CASSIOLATO, César. Ruídos e Interferências em instalações Profibus. *Smar Equipamentos Industriais Ltda*, 2011.



- [35] SOUZA, A. L. O.; SILVA, M. M.; PIRES, I .A. Estudo de Interferência na alimentação elétrica de motores de indução por inversores de frequência. *E-xacta*, Belo Horizonte, v.5, n.1, p. 159-173, 2012.
- [36] SOUZA, C. C. Motores alimentados por inversores de frequência: o isolamento existe? *Depto. Pesquisa e Desenvolvimento, Weg Motores Ltda.*
- [37] CASSIOLATO, César. Minimizando Ruídos em instalações Profibus. *Smar Equipamentos Industriais Ltda*, 2011.
- [38] FUNCTION BLOCK CAPATIBILITIES IN HYBRID/BATCH APPLICATIONS. *Foundation Fieldbus Application Guide*. Fieldbus Foundation, 2002. 73 p.
- [39] INDUSOFT WEB STUDIO. *Getting Started Guide*. Usa: Indusoft, Ltd., 2002.
- [40] FIELBUS PRESSURE TRANSMITTER.. *Operation and Maintenance Instructions Manual*. Sertãozinho: Smar Equipamentos Industriais Ltda, 2014. 84 p.
- [41] INSTRUMENTAÇÃO BÁSICA PARA CONTROLE DE PROCESSO. *Manual de Treinamento*. Rogério Pessa. Sertãozinho: Smar Equipamentos Industriais Ltda, 2006. 233 p.
- [42] Departamento de Treinamento. *Tecnologia Foundation Fieldbus*. Sertãozinho: Smar Equipamentos Industriais, 2014.
- [43] FIELDBUS CONCENTRATION DENSITY TRANSMITTER. *Operation and Maintenance Instructions Manual*. Sertãozinho: Smar Equipamentos Industriais Ltda, 2012. 84 p.
- [44] RADAR DE ONDA GUIADA PARA MEDIÇÕES CONTÍNUAS E NÍVEIS. *Manual RD400Series*. Sertãozinho: Smar Equipamentos Industriais Ltda, 2012. 16p.
- [45] TRIPLE CHANNEL CURRENT TO FIELDBUS CONVERTER. *Operation & Maintenance Instructions Manual*. Sertãozinho: Smar Equipamentos Industriais Ltda, 2014. 46 p.

[46] FISHER® FIELDVUE™ DVC6200F DIGITAL VALVER CONTROLLER FOR FOUNDATION™ FIELDBUS. *Instruction Manual*. Emerson Process Management, 2013. 340 p.

[47] MEDIDOR DE VAZÃO VORTEX SERIE 8800D ROSEMOUNT. *Manual de Referência*. Emerson Process Management, 2010. 172 p.

[48] SOUZA, J. N. M. *Modelagem e simulação de escoamento multifásico em dutos de produção de óleo e gás natural*. 2010. 291 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2010.

[49] FIELDBUS TEMPERATURE TRANSMITTER. *Operation and Maintenance Instructions Manual*. Sertãozinho: Smar Equipamentos Industriais Ltda, 2011. 62 p.

[50] WIRING AND INSTALLATION 31,25KBPS, VOLTAGE, MODE, WIRE MEDIUM. *Application Guide*. Austin: Fieldbus Foundation, 1996. 37 p.

[51] CFW08 VECTOR INVERTER. *Manual do Inversor de Frequência CFW08*. Weg, 2006. 206 p.

[52] ULTRA-COMPACT EMC/RFI FILTER FOR MOTOR DRIVERS APPLICATIONS FN3258. *Datasheet*. Schaffner energy efficiency and reliability, 2014. 2 p.

[53] MARINHO, J. L. G. *Estudo do escoamento Multifásico tipo bolha de Taylor em dutos e conexões curvadas*. 2008. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba. 2008.

[54] Funções de desempenho dos equipamentos. Milenium Energy Industry Electro Electronic Ltda, Recife-PE. <http://www.grupomillennium.rec.br/funcoes.html>

[55] CAIXA DE JUNÇÃO INTELIGENTE. *Manual JM400*. Sertãozinho: Smar Equipamentos Industriais Ltda, 2013. 6p.

[56] BOMBA NEMO. *Manual de Instruções*. Netzsch Pumps and Systems, 2014. 62 p.

[57] LC120 CHAVE DE NÍVEL LATERAL. *Manual de Operação e Instalação*. São Paulo: Incontrol, 2008. 6 p.

[58] SISTEMA MEDIDOR DE VAZÃO ELETROMAGNÉTICO DE MONTAGEM INTEGRAL OU REMOTA COM FOUNDATION™  
FIELDBUS ROSEMOUNT 8732. *Manual de Referência*. Emerson Process Management, 2010. 192 p.

[59] Departamento de Treinamento. *System 302 Equipamentos de Campo*. Sertãozinho: Smar Equipamentos Industriais, 2014.

[60] SILVA C. Inversores de Frequência. *Automação e Controle*. 2009.

[61] CURVA CARACTERÍSTICA E DESENHO DIMENSIONAL. São Paulo: Netzsch.