

**UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA E DE PRODUÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**GESTÃO DA AUTOMAÇÃO E A UTILIZAÇÃO DA REDE INTERBUS  
EM UM ESTUDO DE CASO**

**ROBINSON ZANON GOMES**

ORIENTADOR: PROF. DR. NIVALDO LEMOS COPPINI

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção.

SANTA BÁRBARA D'OESTE

2003

# **GESTÃO DA AUTOMAÇÃO E A UTILIZAÇÃO DA REDE INTERBUS EM UM ESTUDO DE CASO**

**ROBINSON ZANON GOMES**

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, em 20 de agosto de 2003, pela  
Banca Examinadora constituída pelos Professores:

Prof. Dr. Nivaldo Lemos Coppini, Presidente  
UNIMEP

Profa. Dra. Maria Cristina Aranda Batóchio  
UNICAMP

Prof. Dr. Milton Vieira Júnior  
UNIMEP

A

Minha esposa Cristiane

Meus pais Roque e Vanda

Meus irmãos Celina, Celi e Thiago

Meus cunhados Luiz, Ricardo e Cintia

Meus sobrinhos Felipe, Marina e Matheus

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Nivaldo Lemos Coppini pela orientação, compreensão e incentivo dispensados ao desenvolvimento deste trabalho.

A Hélcio Nosé pela amizade, companheirismo e apoio para o desenvolvimento deste trabalho.

À Phoenix Contact, a seus gerentes e a todos os seus funcionários que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

À Asseplam e em especial ao Eng. Antonio Carlos pela amizade, companheirismo, suporte e valiosa contribuição para o desenvolvimento do estudo de caso.

Ao Gerente Áureo Carolo pela contribuição para o desenvolvimento e relato do estudo de caso deste trabalho.

À Sanches & Temple, a todos os seus funcionários e em especial ao Eng. Amair Sanches que colaborou com preciosas informações sobre desenvolvimento de projetos.

À Secretaria da Pós-Graduação da FEMP, pelo apoio e, principalmente, pela amizade demonstrada pelas secretárias e bolsistas Marta, Flávia e Daniele.

Tendo provado nossa força, vamos mostrar mais humildade  
após o feito do que durante a ação.

William Shakespeare

Frase pronunciada pelo personagem Bruto na peça Coriolano, escrita entre  
1607 e 1608.

GOMES, Robinson Zanon. ***Gestão da Automação e a Utilização da Rede Interbus em um Estudo de Caso***. 2003. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste.

## RESUMO

Em um cenário cada vez mais competitivo, as empresas buscam a diferenciação, também por meio da automação industrial, cujos benefícios podem ser maximizados pelo uso das redes digitais de chão de fábrica. Porém, a escolha dentre as diversas opções de fornecedores e de redes digitais consiste sempre em um processo difícil. Com o objetivo de auxiliar nessa seleção, este trabalho busca desenvolver e apresentar uma equação que possibilite, tanto aos demandantes como aos fornecedores, orçar um projeto de automação industrial que utilize a rede Interbus a partir de variáveis conhecidas, como tipo de sinal, número de pontos e distâncias envolvidas, além de expor um quadro que possibilite a associação do tipo de processo à rede industrial mais indicada. Para maior compreensão do trabalho, são apresentados os tipos de produção, conceitos de automação industrial, redes digitais de chão de fábrica e especificamente a rede Interbus, que será utilizada em um estudo de caso, no qual a equação desenvolvida será aplicada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Redes Industriais, Interbus, Custos de Projeto, Automação Industrial.

GOMES, Robinson Zanon. ***Gestão da Automação e a Utilização da Rede Interbus em um Estudo de Caso***. 2003. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste.

### **ABSTRACT**

*In today's competitive market, the companies are looking for differentiation, through the industrial automation of which benefits can be increased through digital networks of the fieldbuses. However the choice amongst several options for suppliers and the digital networks is a hard process. This work aims to help during this selection process, developing and showing an equation that makes possible to customers and suppliers to budget an industrial automation project, that uses Interbus network from simple and known variables, such as type of sign, number of points and distances involved, besides of showing a chart that enables the association between the process type and the most appropriate Industrial Network. For a better comprehension of this work, it is presented the types of production, the concepts of industrial automation, digital networks of the fieldbuses and specifically the Interbus network that will be used in the case study and the developed equation will be used.*

**KEYWORDS:** *Industrial Network; Interbus; Project Cost; Industrial Automation.*

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VII</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>X</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. OBJETIVOS .....	2
1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	3
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
2.1. SISTEMAS PRODUTIVOS .....	4
2.1.1. TIPOS DE PRODUÇÃO.....	4
2.2. AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL .....	11
2.2.1. ÁREAS DE APLICAÇÃO.....	13
2.2.2. JUSTIFICATIVAS PARA A AUTOMAÇÃO.....	15
2.2.3. NÍVEIS DE AUTOMAÇÃO – DIVISÃO POR NÍVEIS DE PROCESSO.....	19
2.2.4. NOVAS NECESSIDADES .....	26
2.3. REDES DIGITAIS DE CHÃO DE FÁBRICA OU <i>FILDBUSES</i> .....	28
2.3.1. HISTÓRIA DO <i>FIELDBUS</i> .....	31
2.3.2. MODELO ISO/OSI .....	33
2.4. TIPOS DE <i>FILDBUSES</i> .....	38
2.4.1. PROFIBUS .....	41
2.4.2. DEVICENET .....	46
2.4.3. INTERBUS .....	50
2.4.4. TABELA DE RESUMO DOS TRÊS <i>FILDBUSES</i> .....	58
2.5. JUSTIFICATIVA PARA A UTILIZAÇÃO DE <i>FILDBUSES</i> .....	59
<b>3. MÉTODO</b> .....	<b>61</b>
<b>4. ELABORAÇÃO DA PROPOSTA DE TRABALHO</b> .....	<b>63</b>
4.1. CENÁRIO ATUAL .....	64
<b>5. ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>92</b>
5.1. SISTEMA PROPOSTO .....	92
5.2. ORÇAMENTO DO PROJETO ATRAVÉS DA EQUAÇÃO PROPOSTA .....	92
<b>6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>107</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>112</b>
<b>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA</b> .....	<b>115</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>116</b>



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CIM	Computer-Integrated Manufacturing
CLP	Controlador Lógico Programável
CNC	Computerized Numeric Control
CONAI	Comitê Nacional de Automação Industrial
CORBA	Common Object Request Broker Architectures
CSI	Closed System Interconnection
COM	Component Object Model
DCOM	Distributed COM
DCS	Distributed Control Systems
DMA	Time Division Multiple Access
ERP	Enterprise Resource Planning
FCS	Frame Check Sequence
FDL	Fieldbus Data Link
FMS	Flexible Manufacturing Systems
FPA	Function Point Analysis
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
ISP	Interoperable Systems Project
I/O	Input and/or Output
LAN	Local Area Network
LLI	Lower Layer Interface
MES	Manufacturing Execution Systems
MIS	Management Information System
ODBC	Open DataBase Connectivity
ODVA	Open DeviceNet Vendor Association Inc.
OLE	Object Linking and Embedding
OSI	Open System Interconnection
SCM	Supply Chain Management
TDMA	Time Division Multiple Access
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
WORDFIP	Factory Instrumentation Protocol

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – PIRÂMIDE DE FLUXO.....	19
FIGURA 2 – SENSORES.....	22
FIGURA 3 – ATUADORES.....	23
FIGURA 4 – CLP BÁSICO.....	24
FIGURA 5 – FLUXO DE INFORMAÇÕES.....	30
FIGURA 6 – FLUXO DE INFORMAÇÕES.....	42
FIGURA 7 – TIPOS DE DISPOSITIVOS.....	44
FIGURA 8 – ESTRUTURA DO INTERBUS.....	52
FIGURA 9 – ELEMENTOS DO BUS.....	53
FIGURA 10 – ESTRUTURA PARA A APLICAÇÃO DA FÓRMULA.....	89

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – TAXA DE TRANSMISSÃO PROFIBUS X DISTÂNCIA. ....	43
TABELA 2 – TAXA DE TRANSMISSÃO DEVICENET X DISTÂNCIA. ....	48
TABELA 3 – COMPARATIVO TÉCNICO ENTRE AS REDES INTERBUS, PROFIBUS-DP E DEVICENET. ....	58
TABELA 4 – RATEIO MÉDIO DE CUSTO EM PROJETOS DE AUTOMAÇÃO. ....	76
TABELA 5 – RATEIO DE CUSTO EM PROJETOS DE AUTOMAÇÃO. ....	79
TABELA 6 – PESQUISA DE VALOR DE MÃO-DE-OBRA PARA CONSTRUÇÃO DE INFRA-ESTRUTURA CONSIDERANDO DISTÂNCIA, TIPO E AMBIENTE. .	81
TABELA 7 – VALORES DE MÃO-DE-OBRA PARA ELABORAÇÃO DE INFRA- ESTRUTURA POR METRO. ....	83
TABELA 8 – VALORES DE FATOR AMBIENTE DE INFRA-ESTRUTURA – F1. ....	83
TABELA 9 – PESQUISA DE VALOR DE MÃO-DE-OBRA PARA LANÇAMENTO E CONEXÃO DE CABOS CONSIDERANDO TIPO, NÚMERO DE CABOS, DISTÂNCIA E AMBIENTE. ....	84
TABELA 10 – VALORES DE MÃO-DE-OBRA PARA LANÇAMENTO E CONEXÃO DE CABOS CONSIDERANDO-SE QUANTIDADE DE CABOS. ....	85
TABELA 11 – VALORES DE FATOR AMBIENTE DE LANÇAMENTO E CONEXÃO DE CABOS – F2. ....	85
TABELA 12 – FATOR CORRESPONDENTE À DISTÂNCIA DOS CABOS A SEREM LANÇADOS E CONECTADOS – F3. ....	85
TABELA 13 – VALORES DE MÃO-DE-OBRA PARA PROGRAMAÇÃO EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE PONTOS. ....	86
TABELA 14 – CUSTO DE HARDWARE. ....	87
TABELA 15 – CUSTO DE I/OS. ....	88
TABELA 16 – SELEÇÃO DE REDE DE ACORDO COM O TIPO DE PRODUÇÃO. ....	93
TABELA 17 – LEVANTAMENTO DE CAMPO RELATIVO À ILHA 1. ....	94
TABELA 18 – EQUAÇÃO DESENVOLVIDA APLICADA À ILHA 1. ....	96
TABELA 19 – LEVANTAMENTO DE CAMPO RELATIVO À ILHA 2. ....	97
TABELA 20 – LEVANTAMENTO DE CAMPO RELATIVO À ILHA 3. ....	97
TABELA 21 – LEVANTAMENTO DE CAMPO RELATIVO À ILHA 4. ....	98
TABELA 22 – LEVANTAMENTO DE CAMPO RELATIVO À ILHA 5. ....	99
TABELA 23 – LEVANTAMENTO DE CAMPO RELATIVO À ILHA 6. ....	100
TABELA 24 – EQUAÇÃO DESENVOLVIDA APLICADA À ILHA 2. ....	101
TABELA 25 – EQUAÇÃO DESENVOLVIDA APLICADA À ILHA 3. ....	101
TABELA 26 – EQUAÇÃO DESENVOLVIDA APLICADA À ILHA 4. ....	102
TABELA 27 – EQUAÇÃO DESENVOLVIDA APLICADA À ILHA 5. ....	103
TABELA 28 – EQUAÇÃO DESENVOLVIDA APLICADA À ILHA 6. ....	104
TABELA 29 – VALORES OBTIDOS POR MEIO DA EQUAÇÃO DESENVOLVIDA. ....	105
TABELA 30 – RESUMO DOS CUSTOS REAIS DO PROJETO. ....	106
TABELA 31 – APLICAÇÃO DA FÓRMULA NA ILHA 1, COM REPOSICIONAMENTO DOS MÓDULOS. ....	109

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com Moraes & Castrucci (2001), a implantação da automação, que sempre objetiva a confiabilidade, repetitividade, produtividade e segurança, pede um consciencioso planejamento estratégico por parte da administração e da engenharia da empresa; ou, em outras palavras, pede a gestão da automação, constituída basicamente de quatro macroetapas: Pré-Venda, Pós-Venda, Desenvolvimento e Teste.

Os autores afirmam que a primeira macroetapa, ou seja, a Pré-Venda, deve consistir na:

- Apresentação de soluções técnicas para atender aos objetivos dos clientes ou de seus integradores participantes.
- Escolha e dimensionamento dos equipamentos, *hardware* e *software* dos sistemas a serem instalados.
- Análise das possíveis topologias a serem aplicadas para as redes, interfaces e controladores programáveis.
- Quantificação dos recursos humanos de engenharia e de administração a serem alocados.
- Elaboração da proposta técnica e comercial.

Sendo assim, é nessa fase do processo que deverão ocorrer as definições sobre o projeto, a interação dos prováveis fornecedores com o cliente, identificando as necessidades e soluções compatíveis sob o ponto de vista tecnológico e comercial. Entretanto, os resultados desse processo de automação estarão seriamente comprometidos caso as soluções propostas baseiem-se apenas no conhecimento empírico das empresas candidatas ou, ainda, se o critério de seleção aplicado pelo cliente consistir na escolha do menor valor.

A gestão da automação intenta o acompanhamento de forma racional de todas as etapas do processo. Este trabalho terá como foco o processo de seleção da proposta e, conseqüentemente, do fornecedor mais adequado ao cenário da empresa, buscando métodos que possibilitem a equalização das diferentes ofertas.

### **1.1. OBJETIVOS**

A escolha deste tema se deve, principalmente, às experiências vivenciadas pelo autor ao longo de 14 anos na área de Automação Industrial e com inúmeros trabalhos voltados para o fornecimento de soluções com redes digitais, que levaram à constatação da necessidade do envolvimento de verdadeiros especialistas em situações simples, que normalmente poderiam ser resolvidas por profissionais com conhecimentos básicos sobre as necessidades da empresa.

Com o propósito de dar uma contribuição nesse assunto, este trabalho tem como principal objetivo a proposição e validação de um método de avaliação de custos de projetos com a rede Interbus.

Por meio da revisão bibliográfica, este trabalho apresenta conceitos que possibilitam à empresa identificar seu perfil produtivo, tipo de automação indicado e as redes digitais mais adequadas. De forma complementar, fornece detalhamento técnico dos três *fieldbuses* de grande utilização no mercado nacional e uma comparação entre os mesmos.

Os dados obtidos durante pesquisas em campo sobre variáveis com impacto direto no valor do projeto, como custos de *hardware*, *software* e mão-de-obra, permitirão então o desenvolvimento de uma equação com características restritivas a processos que utilizem a rede Interbus. Essa equação terá seu grau de precisão determinado pela comparação entre os valores obtidos em uma simulação por meio do estudo de caso e os valores reais, conhecidos do mesmo.

## 1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi estruturado em seis capítulos, como segue:

Capítulo 1 – Introdução, Objetivos e Estrutura do Trabalho – traz as necessidades detectadas no mercado, que este estudo, dentro de suas limitações, irá procurar atender.

Capítulo 2 – Revisão da Literatura – apresenta os conceitos de Produção, Automação Industrial e sua aplicabilidade. Define as Redes Digitais de Chão de Fábrica, aborda o modelo ISO/OSI e apresenta três *Fiedbuses*, dentre os quais o Interbus, que será empregado no estudo de caso.

Capítulo 3 – Método – expõe a forma utilizada para a concepção deste trabalho, voltado para um estudo de caso utilizando a equação proposta e todas as variáveis envolvidas.

Capítulo 4 – Proposta de Trabalho – demonstra o encaminhamento para a identificação das variáveis presentes em um processo de automação, como elas são detectadas por empresas especialistas e a formação de uma equação que possibilita a estimativa de custo de um projeto com rede Interbus.

Capítulo 5 – Estudo de Caso – apresenta as características do sistema e o desenvolvimento de seu orçamento, utilizando a equação e as Tabelas desenvolvidas neste trabalho, que possibilitam também a classificação dos processos produtivos e o tipo de *fieldbus* mais adequado a cada um.

Capítulo 6 – Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros – compara o valor real e o obtido por meio da equação proposta neste trabalho e descreve elementos que possam vir a complementar o mesmo, tornando-o ainda mais efetivo como um guia na orientação da discussão de viabilidade de investimento.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

Dentro dos objetivos deste trabalho, este capítulo proporcionará informações essenciais para que, ao final, seja possível a identificação do perfil da empresa e da rede digital mais adequada ao segmento no qual se enquadre. Para isso deverá ser coberto o conhecimento básico sobre Sistemas de Produção e seus tipos, a Automação Industrial e suas áreas de aplicação dentro dos tipos de Sistemas de Produção e o conceito de Redes Digitais, bem como as características que possibilitam sua divisão dentro das Áreas de Aplicação da Automação. Apresentará ainda, com grande detalhamento, três dos modelos mais utilizados, a rede Interbus, sobre a qual irá basear-se a formulação da equação proposta neste trabalho.

### **2.1. SISTEMAS PRODUTIVOS**

#### **2.1.1. TIPOS DE PRODUÇÃO**

Meredith & Shafer (2002) afirmam que, em um ambiente de mudanças constantes, o sistema de transformação e o seu leiaute devem ser mantidos e até reestruturados para atender às novas demandas, enfrentar novos produtos e serviços, novas normas governamentais e novas tecnologias. Robôs, microcomputadores, a concorrência internacional cada vez maior e a escassez de materiais e energia são apenas alguns exemplos de mudanças nas últimas década que forçaram as organizações a reconhecerem a necessidade de adaptar suas operações.

Uma vez que a Norma DIN 66201 descreve Processo como a totalidade de eventos reciprocamente influenciáveis em um sistema no qual material, energia ou informação são convertidas, transportadas ou armazenadas, torna-se possível o agrupamento desses eventos em cinco modelos básicos de sistemas de transformação que, de acordo com Meredith & Shafer (2002), são:

#### a) Processo Contínuo

O processo contínuo de transformação é utilizado para produzir artigos altamente padronizados em volumes extremamente grandes. Em alguns casos, esses artigos se tornaram tão padronizados que não existe praticamente diferença entre os produtos de empresas distintas. Entre os exemplos de *commodities* desse tipo, estão a água, os gases, produtos químicos, eletricidade, minérios, borracha, farinha, bebidas alcoólicas, cimento, petróleo e leite. O nome **processo contínuo** reflete a prática comum de executar essas operações 24 horas por dia e sete dias por semana. Um dos motivos para efetuar continuamente essas operações é diluir os seus custos fixos, extremamente altos, no maior volume possível, reduzindo assim o custo unitário, fator este muito interessante no mercado de *commodities*. O outro motivo para se operar esses processos de maneira contínua é que interrompê-los e reiniciá-los pode ser proibitivamente caro.

A produção nessas indústrias é altamente automatizada, com equipamentos e controles extremamente especializados. A automação (e as despesas que ela acarreta) é necessária em função dos rígidos requisitos de processamento. Devido à natureza extremamente especializada e automatizada dos equipamentos, alterar o parâmetro de produção pode ser algo bem difícil. As instalações geralmente são um labirinto de tubulações, esteiras rolantes, tanques, válvulas, barris e caixas. O leiaute acompanha as fases de processamento do produto e o parâmetro de produção é acompanhado por meio da capacidade do equipamento e das taxas de fluxo e de mistura. As necessidades de mão-de-obra são basicamente voltadas à monitoração e manutenção do equipamento.

#### b) *Flow Shop*

É um sistema de transformação semelhante ao processo contínuo. A principal diferença é que, nas indústrias desse tipo, o processamento é descontínuo. Nos processos contínuos, pode ser necessária uma etapa adicional, como o envase ou empacotamento do produto final, colocando o mesmo em unidades



descontínuas. Como no processo contínuo, a indústria de produção do tipo *flow shop* trata todos os produtos como basicamente o mesmo, e o fluxo do trabalho, portanto, é contínuo. As organizações que utilizam essa forma são altamente automatizadas, com equipamentos de grande porte, automatizados mas não flexíveis e para fins especiais. As características da indústria de produção do tipo *flow shop* são um conjunto fixo de insumos, tempos de produção constantes e um conjunto fixo de produtos. Entre os exemplos dessa indústria estão: fabricação de lápis, manufatura de aço, montagem de automóveis, lavagem de carros e o processamento de queixas de seguro.

Uma organização que produz, ou planeja produzir, um alto volume de uma pequena variedade de produtos, provavelmente, organizará sua produção como uma indústria do tipo *flow shop*. Fazendo isso, a organização tirará proveito da simplicidade e da economia nos custos variáveis que essa abordagem oferece. Uma vez que os produtos e as operações são padronizados, pode-se utilizar um equipamento especializado para executar as operações necessárias a um custo unitário baixo, e os custos fixos relativamente altos do equipamento são diluídos em um grande volume de produtos.

Podem-se utilizar tipos de equipamentos contínuos de manuseio de material, como esteiras rolantes, operando novamente a custos unitários baixos, porque as operações são padronizadas e geralmente os produtos seguem a mesma trajetória de uma operação para outra. A padronização do tratamento proporciona um tempo de produção conhecido fixo, o que dá aos gerentes um controle mais fácil do sistema e datas de entrega mais confiáveis.

### c) *Job Shop*

O sistema produtivo do tipo *job shop* tem esse nome porque suas tarefas peculiares precisam ser produzidas, ou seja, uma organização que tem uma grande variedade de produtos ou executa trabalhos personalizados. Nessa forma de sistema de transformação, cada produto, ou pequeno lote de produtos, é processado de maneira diferente. Portanto, o fluxo de trabalho

pelas instalações é intermitente. As características gerais de uma indústria desse tipo são: o agrupamento de pessoal e equipamentos de acordo com a função; uma grande variedade de insumos, uma quantidade considerável de transporte de pessoal, material ou recipientes e grandes variações nos tempos de fluxo do sistema. Geralmente, cada produto percorre um roteiro diferente na organização, requer operações distintas e leva um período de tempo diferenciado.

Esse tipo de sistema de transformação é comum quando os produtos diferem significativamente na forma, estrutura, material ou processamento necessários. Entre os exemplos específicos dessa forma de organização de produtos e serviços estão as alfaiatarias, lojas de máquinas, escritórios, oficinas de carros, hospitais e universidades. De modo geral, a indústria desse modelo é particularmente apropriada para organizações que prestam serviços, porque esses geralmente são personalizados e, conseqüentemente, cada serviço requer uma operação diferente.

O sistema produtivo do tipo *job shop* geralmente é selecionado para dar à organização a flexibilidade necessária para responder às demandas individuais e de pequeno volume. A capacidade de produzir uma grande variedade de produtos a um custo razoável é, portanto, a principal vantagem dessa forma de organização industrial que usa equipamentos básicos e isso tem mais demanda e, em geral, disponibilidade de mais fornecedores a um preço mais baixo do que os equipamentos mais especializados. Além disso, há maior probabilidade de um equipamento usado estar disponível, o que reduz ainda mais a necessidade de investimento.

#### d) Produção Celular

A produção celular é um tipo relativamente novo de sistema de transformação que muitas empresas vêm adotando e que combina as vantagens dos sistemas produtivos do tipo *job shop* e *flow shop*, visando obter a maior variedade possível de produtos do primeiro tipo e a redução de custo e tempos de respostas curtos do segundo modelo.

Ainda, de acordo com Meredith & Shafer (2002), a forma celular de produção baseia-se na tecnologia de grupo, que visa obter eficiência explorando as semelhanças inerentes das peças. Na produção, consegue-se isso identificando os grupos de peças que tenham requisitos de processamentos semelhantes. Esses grupos são chamados de famílias de peças.

Depois da divisão das peças em famílias, cria-se uma célula que inclua as habilidades humanas e todos os equipamentos necessários para produzir uma família. Como todos os produtos são semelhantes, o equipamento pode ser montado, a produção de toda a família dá-se a partir de um equipamento montado e que não precisa ser ajustado novamente para um outro tipo de produto, como ocorre na indústria do tipo *job shop*.

Algumas células são compostas por apenas uma máquina, que produz um produto ou serviço completo. Outras células podem ser formadas por diversas pessoas trabalhando em dezenas de máquinas.

Uma planta que utiliza células geralmente é organizada em equipes, isto é, uma equipe é totalmente responsável pela execução do trabalho na sua célula. Geralmente, os próprios membros da equipe programam e inspecionam o trabalho. Às vezes, o trabalho precisa ser levado para fora da célula para um processo especial que não está disponível na mesma, mas essas operações são, sempre que possível, minimizadas.

Normalmente, não é viável classificar todos os produtos em uma quantidade limitada de famílias. Portanto, a uma certa altura, todos os produtos mistos são colocados numa célula de “miscelâneas”, que é operada como uma miniindústria do tipo *job shop*.

#### e) Produção por Projeto

Opta-se pelo Sistema de Produção por Projeto quando o produto for de grande porte com várias atividades interdependentes que requerem um ótima coordenação. No entanto, as características básicas das tarefas são: a duração limitada e imobilidade durante o processamento, caso o artigo seja um produto

físico. Geralmente, o pessoal, os materiais e os equipamentos são trazidos até o produto e localizam-se numa área de preparação até o momento em que se precisa deles. Projetos têm uma vida particularmente limitada, reunindo os recursos pelo tempo de duração do mesmo, sendo que alguns deles são consumidos e outros, como equipamentos e pessoal, são desdobrados para outros usos por ocasião da conclusão dos mesmos. Normalmente, o produto tem um caráter singular. Quando se projeta um sistema de produção, uma série de considerações pode indicar que a forma de projeto é a adequada. Uma dessas considerações é o índice de mudança nos produtos da organização. Se um departamento tem que ficar atento a uma série de mercados que mudam rapidamente, a organização tradicional rapidamente ficaria para trás de seus concorrentes. Esse modelo de produção proporciona tempos de reação às mudanças ambientais ou internas extremamente curtos e, portanto, seria o indicada nesse caso.

Durante o projeto, consegue-se coordenação por meio de reuniões freqüentes dos representantes das diversas áreas funcionais na equipe. Uma das vantagens dessa forma consiste na capacidade de desempenhar sob condições de restrições de tempo e custo.

Agostinho (1985) caracteriza três tipos básicos de produção:

#### I. Produção Individual

Consiste na produção mensal ou anual de uma pequena quantidade de produtos, como também a usinagem correspondente de um ou poucos componentes, sendo neste caso os componentes maiores produzidos em fundição ou forjarias individualmente.

#### II. Produção por Lotes

Quando a produção é efetivada em séries fixas ou lotes, como, por exemplo, a produção de máquinas-ferramentas, bombas hidráulicas, etc.

#### III. Produção em Massa

Quando se tem uma grande quantidade de produtos de um tipo ou tipos semelhantes, pressupondo a montagem e expedição de uma grande quantidade de produtos de um mesmo tipo por um longo período, como, por exemplo, a produção de automóveis e aparelhos eletrodomésticos. Para máquinas complexas, esse período pode ser de anos, porém para artigos simples esse período pode ser meses ou semanas.

Davis & Chase (2001) classificam as operações de manufatura em três grandes tipos de estrutura de processo, cada categoria dependendo em grande parte do volume dos itens a produzir, que costumam ser referidos como processos de projeto, processos intermitentes e processos de fluxo de linha, detalhados a seguir:

- Processo de Projeto

Envolve a manufatura de um produto único e exclusivo. A maior força de um processo desse tipo consiste em ser totalmente flexível para atender às necessidades individuais do cliente. Os custos variáveis nessa categoria são comparativamente muito altos e, por outro lado, os custos fixos são negligenciáveis ou até mesmo inexistentes.

- Processo Intermitente

Subdivide-se em *job shop* e por lotes. O *job shop* é o processo no qual uma quantidade específica de um produto é produzida apenas uma vez e o processo em lotes consiste no meio de produção do mesmo item várias vezes, geralmente em tamanho de lotes especificados. Os custos variáveis são relativamente altos em relação aos processos intermitentes, embora costumem ser mais baixos do que aqueles do processo tipo projeto. No entanto, altos custos fixos são envolvidos nesses processos.

- Processo de Fluxo de Linha

Assim como nos processos intermitentes, os processos de fluxo em linha são freqüentemente subdivididos em linha de produção ou montagem e contínuo.

Processos de linha de produção ou montagem manufaturam produtos distintos e processos contínuos são exatamente aquilo que seus nomes implicam – contínuos, produzindo itens que não são discretos. Fluxos de linha são caracterizados por custos fixos altos e custos variáveis baixos, e são freqüentemente encarados como o mais eficiente entre os três tipos de processo. Os fluxos de linha são usados apenas para os volumes de produtos mais altos, são bem concentrados em termos de enfoque e, por conseqüência, são os menos flexíveis dos três processos.

## **2.2. AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

Desde o final da Segunda Guerra Mundial, houve uma notável evolução do pensamento acerca da produção industrial devido ao aparecimento não apenas de novas disciplinas como a pesquisa operacional e a robótica, mas também, em grande parte, à então recém-criada área de Informática. Mesmo com essa evolução, da qual resultou uma primeira automatização dos sistemas produtivos, no início da década de 1980 assistiu-se a um declínio da produtividade, essencialmente devido a uma mudança do mercado que passou a exigir maior diversificação dos produtos, tempo de desenvolvimento, produção e ciclos de vida menores e de baixo custo, que levaram os sistemas produtivos da época à inadequação face às efetivas necessidades dos novos consumidores. Tornou-se fundamental uma maior integração dos negócios associados ao processo produtivo, que vão desde a aceitação do pedido do cliente, passando pela produção propriamente dita, até a entrega dos produtos. A resposta encontrada foi uma maior e mais abrangente automatização do processo produtivo, das fases de planejamento e apoio e também da logística. A partir de então, a Automação Industrial extravasa do processo de produção, alcançando também todos os demais serviços associados, trazendo como resultado uma tendência para maior organização e integração dos processos de negócios e produtivos com conseqüente aumento do número de sistemas informatizados e da importância das tecnologias de informação e de decisão presentes na Automação Industrial. Dessa forma, a Automação Industrial evolui

para a multidisciplinaridade integradora do conhecimento, que, embora tenha sua própria existência conjugada com o objetivo de se obterem sistemas produtivos eficientes, ágeis e confiáveis, dá uma perspectiva muito mais ampla ao conceito de Automação Industrial até então utilizado.

Davis & Chase (2001) afirmam que um fator chave para o sucesso das organizações é a capacidade de medir seu desempenho. Tal informação, em uma base temporal contínua, fornece aos gerentes dados que irão permitir que se verifique se as metas ou padrões esperados foram alcançados. De acordo com os autores, a capacidade de uma empresa de fabricar produtos personalizados e atender às necessidades individuais de clientes dentro dos prazos determinados é, freqüentemente, denominada manufatura ágil, sendo a flexibilidade um medidor de quão prontamente o processo de transformação da empresa pode se ajustar para atender às demandas sempre variáveis dos clientes. Existem três dimensões da flexibilidade:

- O primeiro tipo de flexibilidade indica com que velocidade um processo pode ser convertido da produção de um produto ou uma família de produtos para outro produto diferenciado.
- O segundo indicador está associado à sua capacidade de reagir a modificações no volume de produção, ou seja, aqueles processos que conseguem atender a grandes flutuações de volume são ditos mais flexíveis do que os processos que não atendem a essa característica específica.
- A terceira dimensão está associada à habilidade do processo de produzir mais de um produto simultaneamente. Assim, quanto mais produtos o processo pode fabricar em determinado tempo, mais flexível será o processo e essas características somente podem ser alcançadas por meio do emprego da Automação.

Pesquisando fontes, que explicassem o surgimento da Automação, deparamo-nos com Moraes & Castrucci (2001), que descrevem a origem desse nome, derivado da palavra *automation*, criada pelo marketing da indústria de

equipamentos na década de 1960. Esse neologismo sonoro buscava enfatizar a participação do computador no controle automático industrial. De forma complementar, os autores afirmam tratar-se de qualquer sistema, apoiado em computadores, que substitua o trabalho humano e vise a soluções rápidas e econômicas para atingir os complexos objetivos das indústrias e dos serviços.

Ferreira (1988) define para a língua portuguesa a palavra Automação como “um sistema automático pelo qual os mecanismos controlam seu próprio funcionamento, quase sem a interferência do homem”. Dez anos mais tarde, Martini (1998), o então presidente do Comitê Nacional de Automação Industrial (CONAI), declara que a automação não passa de computação aplicada, formando a segunda onda dentro do processo da informática, que consiste em colocar o computador a serviço do homem, deixando o computador fazer automaticamente aquilo que no início o ser humano fazia sozinho, no segundo momento fazia com o auxílio do computador e que, a partir de então, deixaria o computador fazer sozinho, apenas sob seu comando pessoal, porém, liberando-o para tarefas mais nobres.

Sob uma ótica mais técnica Souza (1999), apresenta a Automação como a realização de ações automatizadas, partindo-se do pressuposto de que exista um agente que as execute, com conhecimento de como realizá-las e uma estrutura física que a suporte. Esse agente que inicialmente era o homem passou gradativamente a ser substituído, dando origem a essa grande área de conhecimento que se chama Automação. O autor prossegue explicando que a Automação Industrial consiste justamente na implantação de computadores em máquinas e sistemas industriais de forma que os mesmos possam trabalhar com o mínimo de intervenção do ser humano.

### **2.2.1. ÁREAS DE APLICAÇÃO**

Davis & Chase (2001) sustentam que a automação é um conjunto de conceitos, mas ainda é evolutivo no sentido de que é uma etapa lógica e previsível no desenvolvimento de equipamentos e de processos. Os autores exemplificam



como alguns dos principais desenvolvimentos na automação da manufatura: centros de usinagem, máquinas numericamente controladas, robôs industriais, sistemas de manufatura e projeto auxiliados por computadores, sistemas flexíveis de manufatura, manufatura integrada por computadores e ilhas de automação.

Das áreas de aplicação da automação citadas por Davis & Chase (2001), detalham-se a seguir as três que possuem relação direta com este trabalho, que de acordo com o autores são:

- Sistema Flexível de Manufatura (*Flexible Manufacturing Systems – FMS*) – refere-se a um conjunto de sistemas que diferem no grau de mecanização, transferência automatizada e controle computacional, sendo suficientemente flexíveis para produzir uma grande variedade de produtos, podendo consistir de um módulo flexível de manufatura que é uma máquina numericamente controlada (NC), apoiada por um estoque de peças, um trocador de ferramentas e um trocador de paletes, ou uma célula flexível de manufatura que consiste de diversos módulos flexíveis de manufatura, organizados conforme as exigências de determinado produto ou um grupo flexível de manufatura que é uma combinação de módulos e células flexíveis de manufatura localizados na mesma área de manufatura e unidos por um sistema de manuseio de material, como um veículo automatizado guiado, por exemplo.
- Manufatura Integrada por Computador (*Computer-Integrated Manufacturing – CIM*) – integra todos os aspectos da produção em um sistema automatizado. O projeto, o teste, a fabricação, a montagem, a inspeção e o manuseio dos materiais podem ter funções automatizadas dentro da área. Contudo, na maioria das empresas, a comunicação entre os departamentos ainda flui de forma burocrática. No *CIM*, essas ilhas de automação estão integradas, eliminando assim a necessidade da burocracia. Uma rede de computadores une todos os setores, resultando em maior eficiência e menos despesa com pessoal.

- Ilhas de Automação – relacionadas com a transição da manufatura convencional à fábrica automatizada. Ilhas típicas de automação incluem máquinas-ferramentas numericamente controladas, robôs, sistemas de estocagem e de retiradas automatizados e centros de usinagem.

Segundo Souza (1999), é comum a divisão da área de automação em **automação da manufatura** e **automação de processos contínuos**. A primeira identifica sistemas que, na sua origem, utilizaram intensamente a mão-de-obra humana, como montagem de automóveis, produção de autopeças ou quaisquer outros artefatos mecânicos para diferentes propósitos. Nesses sistemas, a automação se caracteriza pelo emprego de robôs e máquinas *CNC (Computerized Numeric Control)*, que são elementos de automação baseados em computadores e estruturas físicas adequadas para a substituição parcial ou total de uma atividade humana. O sistema caracteriza-se por trabalhar em lotes de produção em que existem várias operações repetitivas.

A segunda divisão consiste na automação de processos caracterizados por uma operação contínua no tempo, como processos químicos, petroquímicos, siderurgia e alimentícios, que requerem atividades como ligar e desligar correias transportadoras, controlar velocidade, abrir e fechar válvulas, controlar temperatura, vazão e nível.

### **2.2.2. JUSTIFICATIVAS PARA A AUTOMAÇÃO**

Aceitar a premissa de que não há riqueza sem produção, quer ao nível individual quer ao nível nacional, conduz à conclusão de que o estudo dos sistemas produtivos e das tecnologias associadas, como o caso da Automação Industrial, está à frente dos assuntos que devem ser estudados de uma forma detalhada nos diversos ramos relevantes da engenharia, caso deseje-se um crescimento sustentável da sociedade que garanta um aumento da qualidade de vida sem desperdiçar a longo prazo os recursos disponíveis.

O conceito de automação impõe-se, cada vez mais, nas empresas preocupadas em melhorar a sua produtividade, reduzindo ao mesmo tempo os

custos. Convém notar que, quanto mais um processo se encontrar automatizado, maiores serão os benefícios na regularidade da qualidade de um produto, na economia de energia, passando pela flexibilidade, segurança de funcionamento e, conseqüentemente, pela melhoria da produtividade.

Com a evolução do mercado, a previsão da dimensão de uma série de produção torna-se cada vez menos confiável, os lotes de fabricação mais diversificados e menores. Essa evolução exige do processo produtivo uma característica nova e prioritária: Flexibilidade, cujo tema já foi explorado anteriormente por Davis & Chase (2001) e resultou em uma análise das três dimensões da mesma. Essa nova característica só pode ser obtida recorrendo a novos processos de trabalho que deixem as pessoas envolvidas à margem de manobra e de decisão indispensáveis a um melhor aproveitamento dos recursos.

Os objetivos genéricos da Automação Industrial podem ser obtidos por diversas implementações, sendo que umas privilegiam o preço, outras a funcionalidade e interoperacionalidade com outros sistemas, com maior ou menor customização do equipamento a instalar.

Davis & Chase (2001) e Agostinho (1985) estão em consonância de que a vida dos produtos tem se tornado cada vez mais curta. Somando-se a isso a necessidade de diversificação cada vez maior dos mesmos, a solução tem sido aumentar a flexibilidade. Porém, Agostinho (1985) destaca algumas das influências da flexibilidade, como:

- Modularidade da estrutura.
- Compatibilidade dos módulos de uma fábrica, tanto entre si como em relação a novos módulos a serem adaptados.
- Interligação facilmente variável.
- Arranjo físico ou leiaute que permite liberdade suficiente para alocar estações de usinagem da melhor forma possível.

- Obtenção de maior flexibilidade entre a produção e a demanda.
- Crescente necessidade de reduzir tempo de resposta às necessidades do mercado (consumidor final).
- Dependência entre equipamentos e produto, porque o programa amarra a receita do produto com o controle do equipamento, ou seja, por que não dar maior autonomia a alguns equipamentos que são capazes de realizar funções básicas.
- Ampliação da capacidade nominal da fábrica, economia de escala e conseqüente redução nos custos operacionais.

Seja processo ou manufatura, Souza (1999) afirma que, além de causar uma diminuição nos custos de produção pela alta escala de produção com alto nível de qualidade, a automação possui um enfoque de segurança segundo o qual seus primeiros alvos devem ser as atividades repetitivas, monótonas, e também as perigosas, que, quando realizadas pelo homem de uma forma não adequada, colocam em risco a saúde do indivíduo ou mesmo a vida humana

Moraes & Castrucci (2001) indicam sete razões para a utilização da Automação Industrial, que são:

- Repetitividade e maior qualidade na produção;
- Realização de tarefas impossíveis ou agressivas ao homem;
- Rapidez de resposta ao atendimento da produção;
- Redução dos custos de produção;
- Restabelecimento mais rápido do sistema produtivo;
- Redução da área de trabalho;
- Possibilidade de introdução de sistemas produtivos interligados.

Porém, os autores sinalizam possíveis desvantagens da Automação no campo dos custos sociais. Assim como Schmitz & Carvalho (1988), eles afirmam que a introdução de novas tecnologias permite reduzir significativamente os custos de produção por meio da redução do emprego, aumento da produtividade e qualidade do produto, o que significa:

- a) Uma economia líquida de trabalho por unidade de produção e serviço, que leva a um “desemprego tecnológico”;
- b) A desqualificação dos operários mais especializados e a superespecialização de uns poucos engenheiros;
- c) Uma queda dos salários;
- d) Aumento do estresse;
- e) A desarticulação dos coletivos mais conflitivos da fábrica e o aumento do controle gerencial sobre o processo de trabalho.

No entanto, os autores afirmam que esses eventos não são inevitáveis, citando como exemplo bem-sucedido o emprego da Automação Industrial nos países escandinavos, que obtiveram:

- f) Uma diminuição do desemprego, por meio do aumento da produção, do retreinamento e dos investimentos;
- g) Uma participação do operário, junto com o engenheiro, na elaboração do *software*, o que lhe tem permitido aumentar sua qualificação;
- h) Nível de renda per capita mais alto do mundo;
- i) Controle do estresse;
- j) Desenvolvimento de “ilhas de montagem” e grupos autônomos de trabalho.

Sob uma ótica sistêmica, Davis & Chase (2001) afirmam que a tecnologia pode alterar significativamente a maneira pela qual uma empresa realiza negócios,

sendo que a adoção da estratégia adequada e da tecnologia associada pode resultar em aumentos substanciais na participação no mercado e nos lucros. Contudo, se isso não for feito, o resultado pode ser a perda de clientes para competidores.

### 2.2.3. NÍVEIS DE AUTOMAÇÃO – DIVISÃO POR NÍVEIS DE PROCESSO

Lopez (2000) afirma que na indústria ocorrem muitas trocas de informações entre diversos setores e até mesmo com outras instituições e as técnicas que permitem essas trocas são: computadores para trabalharem as informações, redes para transportarem as informações e a tecnologia de comunicações (Protocolos), que possibilita a transição de informações com segurança e de forma inteligível.

Nessa mesma linha, buscando classificar os tipos de informações que circulam, principalmente no meio industrial, Blome & Klinker (1994) apresentam a **Pirâmide de Fluxo das Informações**, considerando no entanto que a hierarquia mostrada tem somente um significado lógico, não representando a ligação física.

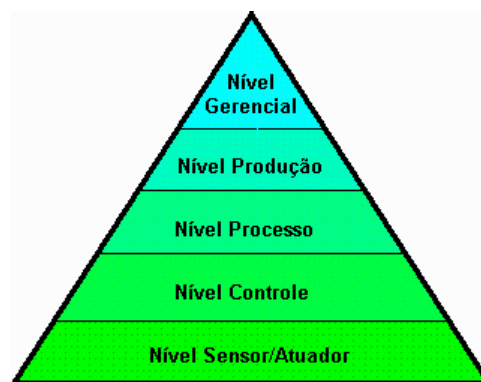


FIGURA 1 – PIRÂMIDE DE FLUXO.

FONTE: BLOME & KLINKER (1994).

A troca de informações entre os diversos níveis de um sistema de automação ocorre por meio de um sistema de comunicação. Verifica-se que a base da

pirâmide é formada pelo nível Sensor/Atuador, que apresenta como principal característica grande quantidade de informações que são pouco trabalhadas; que segue ao nível de Controle, no qual ocorre a coleta de dados dos sensores, as tomadas de decisões segundo parâmetros previamente estabelecidos e a atualização dos atuadores, que irão alterar o processo.

Os níveis de processo, produção e gerencial são compostos de controladores inteligentes e computadores, responsáveis pelo processamento dos dados que são compartilhados entre os demais controles dos níveis superiores.

Moraes & Castrucci (2001) também optam pelo modelo de pirâmide para representar a classificação dos níveis de automação encontrados em uma planta, adotando o nível 1 como a base da pirâmide e o nível 5 como o nível superior da mesma. Os autores definem :

- Nível 1: é o nível das máquinas, dispositivos e componentes (chão de fábrica), no qual a automação é realizada pelo controlador programável, citando como exemplos as máquinas de embalagem, linha de montagem ou manufatura.
- Nível 2: caracterizado por algum tipo de supervisão associada ao processo. É o nível no qual se encontram concentradores de informações sobre o Nível 1 e as Interfaces Homem-Máquina (IHM).
- Nível 3: permite o controle do processo produtivo da planta; normalmente, é constituído por bancos de dados com informações dos índices de qualidade da produção, relatórios e estatísticas de processo, índices de produtividade, algoritmos de otimização da operação produtiva.
- Nível 4: nível responsável pela programação e pelo planejamento da produção, realizando o controle e a logística dos suprimentos.
- Nível 5: é o nível responsável pela administração dos recursos da empresa, em que se encontram os *softwares* para gestão de vendas e gestão

financeira; é também o nível em que são tomadas as decisões e ocorre o gerenciamento de todo o sistema.

De acordo com a revisão bibliográfica realizada, foram identificados três níveis comuns à grande parte das bibliografias pesquisadas, que classificam os níveis de comunicação dentro de sistemas produtivos em três níveis: Nível dos Sensores e Atuadores, Nível de Controle e Nível Gerencial.

Portanto, segue com maior riqueza de detalhes a descrição dos mesmos, buscando fornecer informações básicas que possibilitem a compreensão de partes que compõem o sistema de automação.

### **Nível dos Sensores e Atuadores**

Considera-se um sistema como uma simples malha de controle, em que o estímulo do ambiente é percebido por meio de um sensor e convertido em sinal elétrico (ou digital). Esse sinal é enviado ao controlador, que processa o algoritmo de controle e reage ao ambiente através de um comando para o atuador.

Os sensores têm a tarefa de obter junto ao processo as informações e levá-las ao dispositivo de automação. Com isso cumprem as seguintes missões:

- Converter uma grandeza física, como, por exemplo: posição, pressão ou temperatura em um sinal analógico ou digital.
- Eventualmente pré-processar a informação, por exemplo, escalonar dentro dos limites de uma interface analógica padrão (0... 20 mA; 0... 10 V).

Como o processamento é sempre digital, deve existir um conversor Analógico-Digital em algum ponto do caminho para o dispositivo de automação e, eventualmente, existir também um amplificador de sinal, para que na forma de tensão ou corrente ele seja levado através de um cabo até uma interface padronizada no dispositivo de automação.



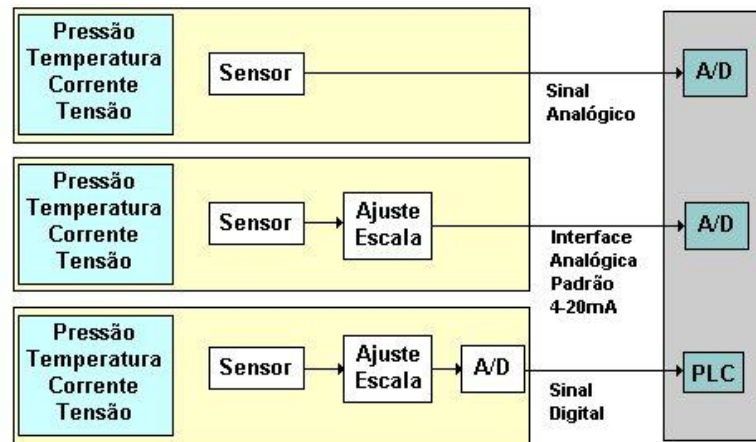


FIGURA 2 – SENSORES.

FONTE: MANUAL SIMATIC S5 (1993).

A tarefa básica dos atuadores consiste em provocar alterações no processo ao qual pertencem, podendo ser:

- Produzir movimento linear ou rotativo através de motores de corrente contínua, de corrente alternada ou motores de passo.
- Comutação de válvulas para acionamento hidráulico ou pneumático ou ainda para controle de materiais fluidos.
- Comando de sinalizadores ópticos ou acústicos.
- Comando de relês ou chaves eletrônicas, que irão acionar elementos elétricos, como, por exemplo, aquecedores.

Os sinais de saídas para comando dos atuadores seguem da mesma forma como para os sensores, de forma digital ou analógica, conforme a Figura 3, na qual a diferença é um conversor Digital–Analógico.

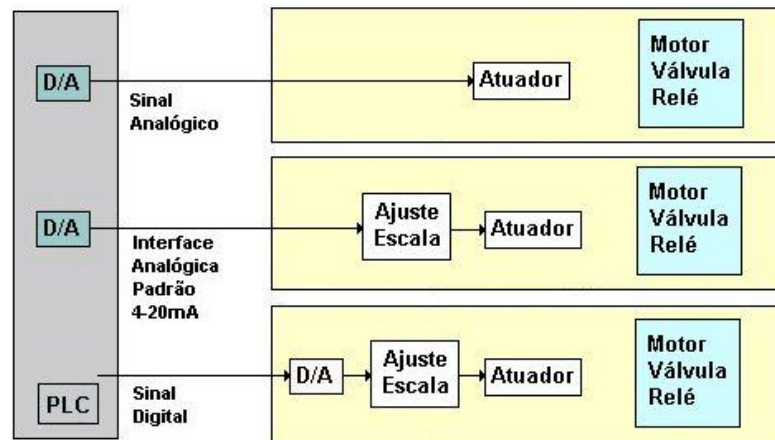


FIGURA 3 – ATUADORES.

FONTE: MANUAL SIMATIC S5 (1993).

### Nível de Controle

O nível de controle, em sua configuração clássica, apresentava-se na forma de relês e chaves contatoras, requerendo um quadro elétrico com a lógica de controle, sendo o comando e o monitoramento do processo estabelecidos através de botões e elementos de sinalização. A principal característica desse sistema era que os sensores e atuadores estavam interligados ao controle através de fiações individuais ou mesmo cabos. Esse tipo de controle não oferecia nenhuma possibilidade de comunicação, portanto, segundo Lopez (2000), tornava impossível a implementação de um sistema de controle eficiente.

Com os avanços da microeletrônica foram desenvolvidos os Controladores Lógicos Programáveis (CLP), que permitiram que as funções da lógica de controle não ficassem mais na topologia da fiação e da comutação, e sim em uma memória de semicondutores, não necessitando mais de um novo desenvolvimento a cada alteração do processo, bastando apenas reescrever o programa.

Para tanto, no CLP existe um microprocessador, responsável pela execução das informações do controlador e que devido à sua maior capacidade permite a realização de um maior número de tarefas, com um volume físico bem menor, possibilitando ainda a interligação de um número muito maior de sensores e atuadores, o que acaba por determinar a centralização do controle, com a instalação de muitos cabos e fios para a interligação aos elementos de campo. Frequentemente, o custo da fiação e de sua instalação supera o custo do próprio controlador.

A Figura 4 mostra a construção de um CLP, composto basicamente pelos seguintes elementos:

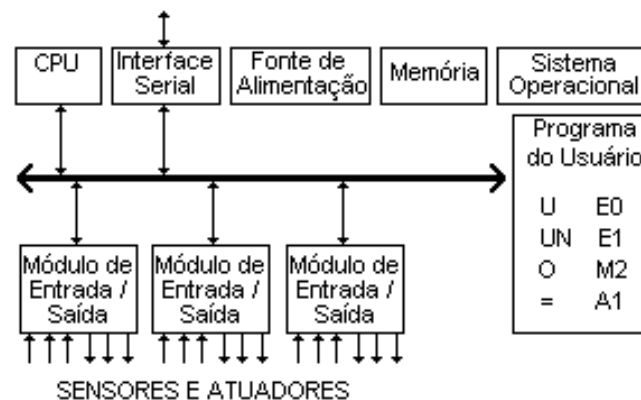


FIGURA 4 – CLP BÁSICO.

FONTE: MANUAL SIMATIC S5 (1993).

- A **CPU** (*Central Processing Unit* – Unidade Central de Processamento) executa o programa e trabalha as informações de entrada para as respectivas informações de saída.
- Por meio de um **módulo de entrada/saída** são conectados os sensores e atuadores. Os CLPs são normalmente montados de forma modular, assim, pode-se conectar módulos correspondentes à quantidade e ao tipo dos sinais.

- Na **memória** são armazenadas as funções de controle, o programa do CLP, que pode ser executado ciclicamente, isto é, quando as instruções são executadas sucessivamente, ou ter sua execução associada a um evento ou tarefa.
- Por meio de uma **interface serial padrão** pode-se conectar um programador, que possibilita a gravação e edição do programa no CLP e ainda a comunicação com os níveis superiores e a interligação do controlador, utilizando uma interface de rede, a uma rede local ou célula de controle.

Ainda sobre a lógica contida na CPU, Natale (1997) complementa que o programa completo de uma máquina ou processo é chamado de Programa do Usuário e que, na ocasião de sua elaboração, esse programa não é escrito em um único módulo, mas dividido em diversas partes denominadas blocos.

### **Nível Gerencial – Redes Superiores**

A integração do nível MIS (*Management Information System*) com os demais níveis de gerenciamento é direcionada para uma visão de produção eficiente, com todas as informações críticas disponíveis na forma eletrônica. O objetivo final é proporcionar uma ferramenta de decisão e implementação operacional em tempo real. Sistemas desse nível, tais como ERP (*Enterprise Resource Planning*), MES (*Manufacturing Execution Systems*) e SCM (*Supply Chain Management*), são comprometidos com o aumento da eficiência, redução de inconstâncias e confirmação do tempo de processo completo. Esses fatores dependem do acompanhamento do processo e também do detalhamento e da precisão das informações sempre em tempo real.

Nos níveis superiores, os computadores podem se comunicar por meio das mais diversas redes existentes, como a *Ethernet*, uma rede cada vez mais utilizada na indústria, devido às vantagens do baixo custo de instalação e manutenção, à facilidade de expansão, à configuração e ao gerenciamento

simplificados, além de fácil conectividade em redes *Intranets* ou mesmo na *Internet*, devido ao fato de possuir alta compatibilidade com outros sistemas nas camadas Física e *Link* de Dados, que serão detalhadas mais adiante.

De acordo com Lopez (2000) o nível de Supervisão atua como um estágio de processamento intermediário da informação transferida entre o MIS e o Sistema de Controle, tendo como funções típicas:

- Controle e monitoração do processo em tempo real.
- Realimentação em tempo real.
- Relatórios de operação.
- Planejamento de controle e recursos.
- Instruções de produção

A integração entre os níveis de Supervisão e MIS envolve tecnologias como ODBC (*Open DataBase Connectivity*), OLE (*Object Linking and Embedding*), CORBA (*Common Object Request Broker Architectures*), COM (*Component Object Model*) e DCOM (*Distributed COM*), ao passo que as tecnologias que integram a Supervisão em nível de operação são *softwares* HMI (*Human Machine Interface*) e SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*), caracterizados por gráficos orientados a objeto, arquitetura cliente/servidor; alta performance na comunicação com CLPs e outros controladores; gerenciamento de alarmes; operação em tempo real; DCS (*Distributed Control Systems*) que possuem grande integração entre as tecnologias dos níveis de Sistema de Controle e Supervisão, suportando os padrões *Fieldbus* e *Ethernet*.

#### **2.2.4. NOVAS NECESSIDADES**

As inovações decorrentes da automação nos sistemas de controle e monitoramento de processos trazem novos desafios, como o aumento da necessidade de informações cada vez mais confiáveis e em tempo real para

abastecer sistemas de gerenciamento e a necessidade da descentralização do controle por meio da utilização de elementos inteligentes no campo.

O aumento desses componentes instalados no campo demanda maior quantidade de fios para interligá-los ao controle central. Esse conjunto de cabos, por sua vez, necessita de uma infra-estrutura civil e mecânica adequada para suportá-lo. Evidentemente, todos esses elementos, embora não tenham influência direta sobre os sistemas de controle ou agreguem valor ao mesmo, representam uma parcela substancial dos custos envolvidos no projeto.

Conforme LeBlanc (2002), os sistemas de controle de manufatura e processo demandam transmissões de informações eficientes e confiáveis dos equipamentos de medição e controle no nível de chão de fábrica para aplicações corporativas. Com a competição mundial, as regulamentações governamentais e as crescentes exigências do mercado, as companhias precisam olhar mais para o custo efetivo de seus produtos, e eficiência significa automatizar e controlar seus recursos produtivos. Nos processos produtivos atuais, sinais discretos ou analógicos são interligados através de cabos a partir de seus equipamentos no campo até o controlador central. O cabeamento ponto-a-ponto é atualmente o padrão de-fato, porém, é importante atentar que essa tradicional forma de interligação é muito limitada em sua capacidade de transmissão de informações, comunicando apenas dados relacionados às variáveis de processo, sem qualquer diagnóstico sobre seu funcionamento.

Um dos problemas que surgiram com a integração cada vez maior dos componentes de automação foi o da comunicação paralela. As desvantagens desse sistema são: o tempo excessivo para a realização do projeto, a instalação e a colocação em funcionamento, além da manutenção posterior. Também a sensibilidade a ruídos é uma desvantagem, pois ruídos podem ocasionar desde a queda da performance da comunicação até a paralisação completa do sistema, daí a necessidade da utilização de métodos de proteção e segurança para cada sensor, como cabos blindados para sinal, além da limitação de distâncias máximas de instalação entre os elementos de campo e o controlador.

### 2.3. REDES DIGITAIS DE CHÃO DE FÁBRICA OU *FILDBUSES*

LeBlanc (2002) afirma existirem diversas tecnologias de redes industriais ou *fieldbuses* no mercado, porém, a idéia básica por trás desse desenvolvimento é a de oferecer um método padronizado de interligação de equipamentos que possibilite a troca de informações, tanto de variáveis de processo como de diagnóstico. O autor alerta que essa abertura determinaria a existência de diversos tipos de tecnologias de *fieldbuses* decorrente da luta entre diversos fabricantes por estabelecer seus barramentos dentro de segmentos específicos da indústria, o que acabaria por determinar a fragmentação do mercado.

De acordo com Blome & Klinker (1994), redes digitais ou *fieldbuses* são utilizadas no segmento de automação industrial para sistema de comunicação de dados em automação da produção, sendo divididas em duas diferentes áreas de aplicação:

- Em uma área o *fieldbus* trabalha como sistema de interligação entre os dados dos equipamentos de controle inteligentes, como CLPs, CNCs ou controladores de robôs, e as áreas de alto nível ou computadores da célula, nos quais o princípio de comunicação utilizado é chamado de conceito multimaster.
- E na segunda o *fieldbus* tem a tarefa de funcionar como sistema de comunicação de dados da imagem do processo dos equipamentos utilizados diretamente no nível do processo como sensores, atuadores, controladores ou sistemas inteligentes com controladores lógicos como CLPs, CNCs, controladores de robôs ou computadores industriais, prevalecendo nesse caso o conceito mestre–escravo.

Os autores pormenorizam que um *fieldbus* para nível de sensores e atuadores não necessita de todas as sete camadas do modelo de referência ISO/OSI, que serão detalhadas mais adiante. Sendo uma configuração mínima constituída da camada 1 que estabelece o método de transmissão físico e a camada 2 (*Data Link Layer*) que estabelece o sistema de transmissão e recepção dos dados, a

necessidade de definição da camada 7 (*Application Layer*) cresce com o aumento da importância do *fieldbus* no conceito de automação. Ressalta a importância de que, com o aumento de camadas definidas pelo modelo ISO/OSI, o código do sistema de barramento torna-se mais complexo e o tempo de resposta aumenta. O *fieldbus* para sensores e atuadores precisa, sobretudo, ser capaz de comunicar sob condições de tempo real.

Uma segunda definição de *fieldbus* em Blome & Jansen (1998) caracteriza-o como o sistema nervoso central da comunicação relacionada ao processo da automação industrial. Esse sistema transmite todas as informações, em forma de sinais digitais, os quais são necessários para intervir no processo ou mesmo fazê-lo transparente ao usuário. Como regra, o sistema é extremamente distribuído em todo o processo, por essa razão, a informação necessita ser transmitida utilizando-se a melhor técnica disponível.

O *fieldbus* foi inicialmente utilizado como o mais baixo nível de rede com a finalidade de substituir o cabeamento paralelo por um único e simples cabo de barramento. Porém, o uso crescente da automação no campo trouxe a necessidade da troca de informações mais complexa, além dos dados do processo.

De acordo com Rocha (1998), não existe uma única alternativa que possa ser definida como a solução para todas as necessidades apresentadas pelos mais diversos segmentos e aplicações industriais. Na verdade, as várias tecnologias existentes compõem um universo do qual o usuário extrairá uma opção, com base nos requisitos particulares de cada aplicação industrial, de forma a atender adequadamente a todas as suas necessidades.

O ponto principal considerado até agora relaciona-se à troca de informações entre o nível de controle e o nível de sensor atuador. Considerando a troca de informações em todo o processo, podem existir outros tipos de mensagens. A Figura 5 apresenta a **pirâmide de fluxo**, já abordada na Figura 1, agora indicando a relação entre a quantidade de informação e o tempo de reação esperado. No nível de Sensor/Atuador, verifica-se uma quantidade pequena de



informação da ordem de bits, porém, o tempo de reação é da ordem de milissegundos. Para os níveis superiores a quantidade de informação tende a aumentar até a ordem de megabytes e o tempo de reação passa para minutos e/ou horas.

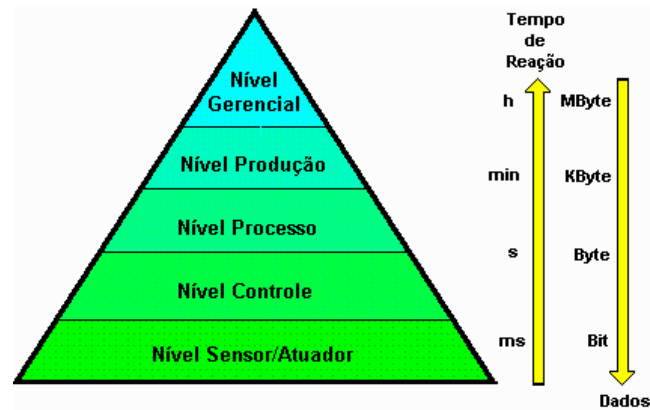


FIGURA 5 – FLUXO DE INFORMAÇÕES.

FORTE: BLOME & JANSEN (1998).

A Figura 5 demonstra o conceito do tempo de reação de um controle. As informações dos sensores traduzem as condições do processo, que podem ser, por exemplo: pressão, temperatura, tempo, etc. Dependendo do algoritmo de controle e do sinal de entrada, ocorre então um processamento da informação no controlador, que compõe então o sinal de saída. Esse sinal é enviado para os atuadores no final do processo.

As entradas e saídas podem ocorrer de forma paralela ou serial. No caso do sistema *fieldbus*, as informações são transportadas serialmente. O tempo de reação de um controle depende então do tempo de transporte da informação e do tempo de processamento. Esse tempo é denominado na automação como tempo de ciclo.

Segundo Lopez (2000), o *fieldbus* é um sistema de comunicação digital, serial e bidirecional, que interconecta equipamentos de medição e controle tais como controladores, sensores e atuadores. Na hierarquia dos níveis de rede, o

*fieldbus* é considerado como o gerenciador de uma LAN constituída de instrumentos usados em controle de processo e aplicações de automação.

O *fieldbus* constitui o nível mais próximo ao processo dentro da estrutura de comunicações industriais. Baseado em processadores simples, utiliza protocolo mínimo para gerenciar o enlace, constituindo-se de:

- Padrões de comunicação que cobrem os níveis físico, de enlace e de comunicação estabelecida no modelo OSI.
- Conexões físicas que, em geral, as especificações de um determinado bus admitem mais de um tipo, utilizando normalmente a bidirecional RS-485 e a RS-422.
- Protocolos de acesso e de enlace que consistem de uma série de funções e serviços de rede, executados mediante códigos de operações padronizados.

Aplicação, dirigida ao usuário, apoiando-se em funções padrões para criar programas de gerenciamento. Cada fabricante possui aplicação própria permitindo programação em linguagem padrão.

### **2.3.1. HISTÓRIA DO *FIELDBUS***

Lopez (2000) associa a criação do *fieldbus* à evolução dos sinais de controle ao longo do tempo, que teve seu início na década de 1940 com a instrumentação de processo utilizando sinais de pressão 3-15 psi para a monitoração de dispositivos, passou pela década de 1960, com a introdução do padrão de sinais analógicos 4-20mA na instrumentação de processo. Porém, foi durante os anos 70, graças ao desenvolvimento dos processadores digitais e ao uso de computadores para monitorar e controlar um sistema de instrumentos a partir de um ponto central, que foi identificada a necessidade do desenvolvimento dos sensores inteligentes para aplicação no controle digital, que de fato ocorreu na década de 1980. Esse desenvolvimento demandou

integração dos vários tipos de instrumentos digitais em uma rede, de modo a otimizar a performance do sistema.

Surgiu, então, a necessidade de padronização do *fieldbus* para formalizar o controle de instrumentos inteligentes. Para isso formou-se o comitê *IEC/ISA SP50 Fieldbus*, que visava desenvolver a base de integração para a grande variedade de instrumentos de controle, bem como as interfaces para operação simultânea de vários dispositivos.

Em 1992, dois grupos formados por grandes companhias e cujos sistemas eram os mais difundidos forneceram soluções diferentes para a padronização do *fieldbus*. O ISP (*Interoperable Systems Project*) e o WordFip (*Factory Instrumentation Protocol*) apresentavam implementações diferentes, mas se comprometiam a alterar seus produtos conforme padrão ISA SP50, quando esse fosse implantado, o que de fato não veio a ocorrer.

As quatro principais camadas do *fieldbus* foram padronizadas pelo ISA SP50 em 1996 e sua constituição básica consistia de:

- Camada Física – define o meio de transmissão usado na interligação dos dispositivos.
- Camada *Link* de Dados (Enlace) – monitora a comunicação entre os dispositivos e detecta erros.
- Camada de Aplicação – formata as mensagens de dados, de modo que todos os dispositivos conectados possam aceitar e fornecer os serviços de controle do processo, entregando-os para a camada de Apresentação.
- Camada de Apresentação – conecta as diversas áreas de aplicação por meio de funções de controle de alto nível.

Tais camadas estão contempladas no modelo OSI da ISO, que é apresentado a seguir.

### 2.3.2. MODELO ISO/OSI

Para Lopez (2000), a comunicação dentro de uma rede somente é possível pela utilização de um protocolo, que estabelece as regras para troca de informações. Buscando essa uniformização e a universalização dos padrões e modelos adotados pelos protocolos de rede, a ISO desenvolveu o Modelo OSI (*Open System Interconnection*), que organiza os conceitos gerais ou fornece as diretrizes que, no caso das redes, descreve os serviços necessários para mover os dados de um lugar para outro.

Criado em 1977, é o modelo de referência para desenvolver padrões de comunicação de dados, ou seja, identificar e estruturar níveis de comunicação de transferência de dados. Assim sendo, o Modelo de Referência do OSI é formado por sete camadas compostas de sete protocolos distintos. Essas camadas são responsáveis pela implementação das funções que asseguram a transmissão da informação, distribuição para os endereços, controle da comunicação e serviços gerenciados para o usuário

As implementações de protocolo, compostos de *hardware* e/ou *software* executam funções associadas a uma das camadas do modelo de referência do OSI. As camadas comunicam-se enviando parâmetros chamados *service primitive* de uma para as outras através de endereços predefinidos chamados pontos de acesso aos serviços.

Embora dois protocolos possam endereçar as mesmas camadas do Modelo de Referência do OSI, eles não podem trabalhar juntos. A melhor utilização do modelo é categorizar tecnologias de rede e suas implementações de protocolo.

A seguir são apresentadas cada uma das camadas que compõem o modelo ISO/OSI:

#### **Camada 1 – Física**

As implementações do protocolo da camada Física do OSI coordenam as regras para a transmissão de bits. A camada define: as estruturas de rede

físicas; as especificações mecânicas e elétricas para a utilização do meio de transmissão, a codificação de transmissão de bits e as regras de sincronização. Ainda segundo Lopez (2000), é nesse nível que se devem tomar algumas decisões básicas a respeito de questões mecânicas e elétricas, definindo-se qual será a interface entre o terminal e o dispositivo de rede. Concentradores, *hubs*, repetidores, conectores do meio de transmissão e modems são normalmente associados à camada Física do OSI.

Tanenbaum (1995) ratifica que o protocolo do nível físico trata da padronização das interfaces elétricas, mecânicas e de sinalização, possibilitando a uma máquina enviar um bit 0 e as demais eventualmente envolvidas na comunicação receberem efetivamente esse valor. Para tanto foram desenvolvidos vários padrões para esse nível, envolvendo diversos meios de comunicação, como, por exemplo, o padrão RS-232-C para linhas de comunicação seriais.

## **Camada 2 – Enlace de Dados**

Tanenbaum (1995) afirma que: “O nível físico simplesmente envia bits de um lado para o outro. Tudo se passará às mil maravilhas enquanto não houver a ocorrência de erros. No entanto, sabemos que ocorrem erros nas redes de comunicação reais, portanto, torna-se necessário um mecanismo para detectá-los e corrigi-los. Implementar esse mecanismo é a principal tarefa do nível de enlace de dados. Para tanto, os bits são agrupados em unidades, denominadas quadros. A função deste nível é verificar se os quadros estão sendo corretamente recebidos”.

De acordo com Lopez (2000), as finalidades básicas das implementações do protocolo da camada de *link* de dados são: organizar os bits da camada física em grupos lógicos de informações chamados quadros, que consistem em uma série contígua de bits agrupados como uma unidade de dados; detectar e corrigir erros; controlar fluxo de dados e identificar os dispositivos da rede. Essa camada especifica quais unidades de mensagens serão enviadas, isto é,

pacotes ou *frames*, seu formato, e como elas acessarão a rede. Cada pacote recebe um código de endereços e uma soma de verificação para detecção de falhas. A tarefa dessa camada é assegurar que as transmissões ocorram sem erros. Como a maioria das outras camadas, acrescenta suas próprias informações de controle à frente do pacote de dados. Essas informações podem incluir um endereço de origem e destino, informações sobre o tamanho do *frame* e uma indicação dos protocolos da camada superior envolvidos.

### **Camada 3 – Rede**

Tanenbaum (1995) comenta que, em uma rede local, o transmissor não precisa localizar o receptor quando do envio de uma mensagem. Basta colocar a mensagem na rede que o receptor poderá facilmente obtê-la. No entanto, uma rede de longa distância é composta por grande número de máquinas, cada uma das quais com possibilidades de se conectar a outras redes. Para que uma mensagem saia de um transmissor e atinja um determinado receptor, são necessárias diversas escalas, nas quais a mensagem deve escolher um entre os vários caminhos existentes para seguir em frente, chamado de roteamento.

Existem dois protocolos para o nível da rede muito difundidos, um orientado à conexão, que é o X.25, e o outro sem a necessidade da mesma, sendo o IP, através do qual cada pacote, que é o termo técnico para uma mensagem no nível de rede, é roteado em direção a seu destino de forma completamente independente de todos os demais.

### **Camada 4 – Transporte**

A Camada de Transporte normalmente compensa a falta de serviços de conexão confiáveis. Obviamente, se um cabo partir, essa camada não garantirá que os dados sejam enviados, mas as implementações de protocolo podem normalmente confirmar ou negar o envio dos dados.

Lopez (2000) afirma que essa camada oculta a complexidade da estrutura da rede para o processo da camada superior, por meio da organização das mensagens de nível mais alto em segmentos, e as entrega à camada de sessão; já Tanenbaum (1995) exemplifica da seguinte forma: “Ao receber uma mensagem do nível de sessão, o nível de transporte abre a mensagem em pedaços, pequenos o suficiente para cada um conter um único pacote, atribuindo a cada pedaço um número seqüencial. Ao término desse trabalho, ele transmite todos eles. A discussão no cabeçalho do nível de transporte diz respeito aos pacotes que foram enviados, aos que foram recebidos, quanto de espaço há no receptor para aceitá-los, além de outro assuntos similares”.

### **Camada 5 – Sessão**

Tanenbaum (1995) afirma que o nível de sessão é, em última análise, uma versão aprimorada no nível de transporte. Ele fornece uma metodologia para controle do diálogo, de forma a estabelecer qual das partes está falando, além de fornecer também facilidades para sincronização.

Para Lopez (2000), essa camada define como as conexões são estabelecidas e desfeitas e como os dados são trocados na rede, facilitando a comunicação entre fornecedores e solicitantes de serviços. As sessões de comunicação são controladas por mecanismos que estabelecem, mantêm, sincronizam e gerenciam o diálogo entre dispositivos de comunicação. Essa camada também ajuda as demais na identificação e conexão aos serviços disponíveis na rede. O tópico Controle de Diálogo define a direção dos dados, que podem ser:

- *Simplex*: a comunicação no canal de transmissão ocorre em apenas uma direção, ou seja, apenas um dispositivo pode transmitir enquanto os demais apenas recebem.
- *Half-duplex*: cada dispositivo pode transmitir e receber, mas apenas um de cada vez pode transmitir, sendo que o uso do canal é limitado pelo uso de outros dispositivos.

- *Full-duplex*: permite que todos os dispositivos transmitam e recebam simultaneamente, porém, exige-se que todos os dispositivos possuam dois canais de transmissão lógica e física, um para transmitir e outro para receber.

### **Camada 6 – Camada de Apresentação**

De acordo com Tanenbaum (1995), ao contrário dos níveis mais baixos cuja função é transferir bits de um transmissor para um receptor, de forma confiável e eficiente, esse nível cuida do significado desses bits. As mensagens não são compostas de um conjunto de bits agrupados de forma aleatória, mas sim de informação bem estruturada, como, nomes de pessoas, endereços, saldos bancários, e assim por diante. No nível de apresentação, é possível definir os registros contendo campos para recebimento da informação estruturada, e então fazer com que o transmissor informe ao receptor que a mensagem é composta por registros em determinados formatos. Isso facilita muito a comunicação entre máquinas com diferentes representações internas.

Para Lopez (2000), essa camada define como as diferenças de sintaxe são traduzidas pela rede, e considera que os tópicos específicos dessa camada são: conversão e criptografia. No primeiro tópico, os processadores usam várias regras para fazer com que o 0 e 1 binários representem dados, ao passo que o segundo descreve os métodos de misturar os dados de modo a protegê-los contra o uso indevido, podendo ser realizado por *hardware* ou *software*.

### **Camada 7 – Aplicação**

“A camada de aplicação inclui todos os tópicos e funções específicas para cada serviço de rede. Logo, as seis camadas inferiores incluem tarefas e tecnologias que suportam os serviços de rede, enquanto a camada de Aplicação fornece os protocolos necessários para realizar as funções específicas dos serviços de rede. Esse é o nível final, que define como os aplicativos entram no Modelo OSI para a transmissão”, finaliza Lopez (2000).



#### 2.4. TIPOS DE *FILDBUSES*

Lopez (2000) explica o *fieldbus*, rede industrial ou *bus* de campo como uma rede de comunicação digital para aplicações industriais que substitui os sinais analógicos 4-20 mA., utilizada para conectar dispositivos que possuem um processador interno, o que os tornam dispositivos inteligentes, tais como: controladores, transdutores, atuadores e sensores. Os dispositivos são habilitados para funções próprias de diagnóstico, controle, manutenção e com capacidade de comunicação bidirecional, podendo ser classificados segundo o autor em quatro níveis hierárquicos, próximos aos níveis definidos anteriormente em Blome & Klinker (1994) e Moraes & Castrucci (2001), como segue:

- Nível de Gestão – é o nível mais elevado e se encarrega de integrar os níveis seguintes em uma estrutura. As máquinas conectadas nesse nível são estações de trabalho que fazem a supervisão dos processos. As redes utilizadas são do tipo LAN ou WAN (*Wide Area Network*).
- Nível de Controle – responsável pelo enlace e o controle dos processos (controle e programação) e a rede é do tipo LAN.
- Nível de Campo e Processo – faz a integração de pequenos automatismos (CLPs, multiplexadores de I/O, controladores PID, etc.) dentro de sub-redes, chamadas de “ilhas”. No nível mais alto dessas redes, estão um ou mais controladores atuando como mestres da rede ou controladores periféricos. Nesse nível, aplica-se o *fieldbus*.
- Nível de I/O's (entradas e saídas) – é o nível mais próximo do processo controlado onde estão os sensores e atuadores encarregados de manejar o processo produtivo e tomar as medidas necessárias para a correta automação e supervisão.

Rocha (1998) contribui com a associação do nível de comunicação à classe das redes de comunicação destacando quatro grupos, que são:

- *Sensor Bus* – de característica determinística e tempos de resposta extremamente curtos, dedicado a atender às necessidades de comunicação no nível dos sensores e atuadores, predominantemente de natureza discreta. Exemplos: AS-i, Seriplex, etc,
- *Device Bus* – possui perfil determinístico e alta performance, orientada para a distribuição dos dispositivos de controle e seus periféricos com íntima relação com unidades centrais de processamento. Exemplos: *DeviceNet*, *Device WorldFIP*, *Interbus-S*, *Profibus-DP*, etc.
- *FieldBus* – dotada de estruturas de dados mais completas e alta performance aplicada na comunicação entre unidades inteligentes tipicamente em processo contínuos. Exemplos: *Fieldbus Foundation*, *Fieldbus WorldFIP*, *Modbus*, *Profibus-FMS*, *Profibus-PA*, etc.
- *Databus* – capaz de manipular grandes quantidades de informações, em tempo não crítico, destinadas ao domínio da informática industrial (computadores). Exemplos: *Ethernet*, TCP/IP, MAP, FDDI, etc.

Para LeBlanc (2002), os *fieldbuses* podem ser agrupados em cinco classes, também em divisões muito próximas às citadas por Rocha (1998), sendo que as únicas diferenças estão contidas nas duas últimas classificações, como se verifica a seguir:

- *Sensorbus* – consiste no mais baixo nível de rede, utilizado para conectar equipamentos simples e de baixo custo. Transmitem poucos dados e utilizam baixo processamento nos elementos de campo. Exemplos: *ASi* e *Interbus*.
- *Devicebus* – categoria mais utilizada, devido à possibilidade de comunicação entre equipamentos inteligentes que podem desempenhar múltiplas funções e comunicar informações de processo e diagnóstico. Exemplos: *CAN*, *DeviceNet*, *LonWorks* e *Profibus DP*.

- *Fieldbus* – um nível acima do *Devicebus*, que suporta transmissões de grande quantidade de dados, mas geralmente trabalha com baixa velocidade e requer maior poder de processamento nos instrumentos de campo. Algumas tecnologias suportam também a distribuição de funções de controle no campo. Exemplos: *Foundation Fieldbus* e *Profibus DP*.
- Controle – objetiva principalmente a comunicação ponto-a-ponto entre equipamentos de controle de alto nível como CLPs ou PCs. Exemplo: *ControlNet*.
- Corporativo – tradicionalmente “a espinha dorsal” da rede corporativa onde são compartilhadas informações corporativas, no qual predomina o protocolo TCP/IP na *Ethernet*.

Embora este trabalho tenha como um dos objetivos apresentar o sistema Interbus, que será utilizado no estudo de caso, de forma complementar manifestará uma comparação entre três dos diversos *fieldbuses* disponíveis no mercado e para maior clareza as características de cada um dos barramentos foram agrupadas em sete itens, que são:

- Sistema – deverá apresentar uma breve introdução trazendo características gerais sobre o sistema em questão.
- Topologia e Estrutura do Barramento – destacando a estrutura física, a necessidade ou não de terminadores e/ou derivadores, tamanho da rede, velocidade, tipo e meio de transmissão, além de números de estações na rede, interface e meio de transmissão.
- Elementos do Bus – indicando o modelo de controle (Mestre–Escravo, Produtor–Consumidor).
- Transferência de Dados – comentando as camadas do modelo OSI implementadas no protocolo, transferência de mensagens (Tabelas/*Frames*) e como ocorre a movimentação de dados no barramento.

- Controle de Acesso ao Meio – identificando o acesso ao meio de transmissão (*token- ring*, disputa) e definindo qual estação tem permissão de acesso (transmissão de dados).
- Interfaces de *Hardware* – *Chips* e seus fabricantes.
- Normas – DIN, EN e outras.

A seguir, é apresentado outro *fieldbus* disponível no mercado que trata-se do Profibus.

### 2.4.1. PROFIBUS

#### Sistema PROFIBUS

De acordo com informações obtidas por meio da *Internet* e no Manual Simatic S5 (1993), o sistema PROFIBUS (*Process Fieldbus*) especifica as características funcionais e técnicas de um sistema serial, no qual controladores descentralizados podem ser interligados desde o nível de campo (sensores e atuadores) até o nível de célula (controle). Elementos mestres, também chamados de estações ativas, determinam a comunicação de dados no barramento, enviando mensagens sem uma requisição externa, quando de posse do “*token*” (bastão). Tipicamente, os elementos escravos, ou estações passivas, são elementos de entradas e saídas analógicas ou digitais, que não possuem acesso ao barramento e, portanto, somente atendem a solicitações realizadas pelo mestre do sistema.

O sistema PROFIBUS está dividido em três tipos, chamados PA, DP e FMS. O PROFIBUS-PA usa uma extensão do protocolo DP e sua tecnologia de transmissão é definida de acordo com a norma IEC 1158-2, que permite seu uso em área de segurança intrínseca, utilizando a alimentação elétrica através do próprio barramento. O PROFIBUS-DP (*Decentralized Periphery*) é utilizado para comunicação de dados em alta velocidade no nível de sensores e atuadores. O PROFIBUS-FMS é utilizado para comunicação no nível de

célula/controladores, onde é mais importante o alto grau de funcionalidade do que tempo de reação rápido. A Figura 6 possibilita a visualização dos níveis de aplicação do protocolo, bem como seus respectivos tempos.

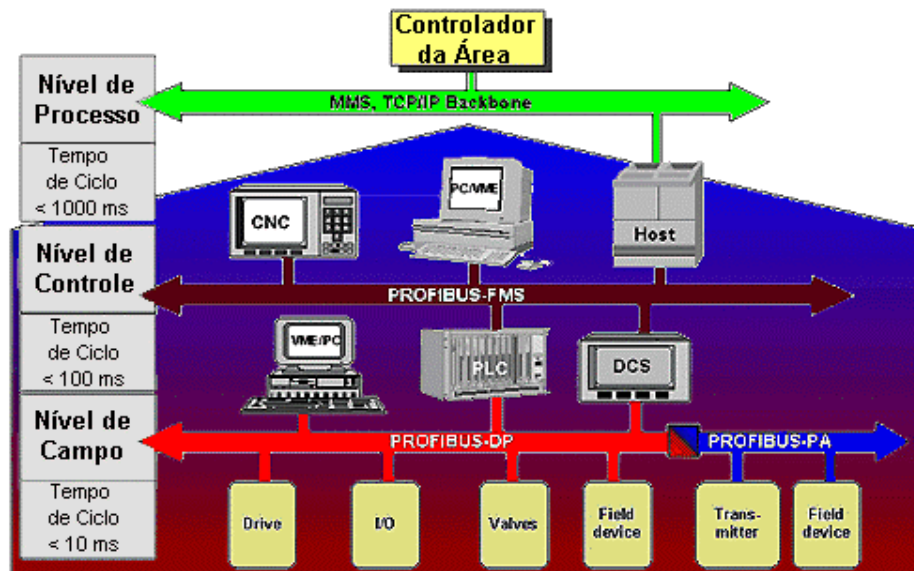


FIGURA 6 – FLUXO DE INFORMAÇÕES.

FONTE: MANUAL SIMATIC S5 (1993).

## Topologia

A topologia é de barramento, com terminações ativas nas duas pontas, observando-se que as derivações do barramento são apenas permitidas para taxas menores ou igual a 1.5 Mbit/s.

O meio de transmissão é um cabo do tipo par trançado blindado, possibilitando até 32 estações em um segmento sem repetidores ou 126 estações com repetidores. Os conectores utilizados são, preferencialmente, o de 9 pinos do tipo D-sub. O padrão de Interface utilizado é o RS-485, que assegura aplicações com múltiplas conexões. A codificação dos dados é NRZ (*Non Return to Zero*).

O comprimento máximo do cabo depende da velocidade de transmissão, conforme Tabela 1, e o comprimento da rede pode ser aumentado com o uso de repetidores observando que o uso de mais de três repetidores em série não é permitido por características técnicas do protocolo. A transmissão é do tipo *half-duplex* e assíncrona.

TABELA 1 – TAXA DE TRANSMISSÃO PROFIBUS X DISTÂNCIA.

<b>Taxa (kbit/s)</b>	9.6	19.2	93.75	187.5	500	1500	12000
<b>Distância/ Segmento</b>	1200m	1200m	1200m	1000m	400m	200m	100m

FONTE: MANUAL SIMATIC S5 (1993).

### Elementos do Bus

O PROFIBUS-DP permite sistemas mono/mestre ou multi/mestre, o que possibilita um alto grau de flexibilidade da configuração do sistema, podendo cada sistema conter três diferentes tipos de equipamentos:

- Mestre DP classe 1 (DPM1) – é a central de controle que troca informações com as estações descentralizadas dentro de um ciclo de mensagens específicas. Tipicamente esses mestres incluem controladores programáveis (CLPs) e sistemas PC ou VME.
- Mestre DP classe 2 (DPM2) – são programadores, dispositivos de configuração ou painéis de controle. Eles são usados durante a configuração do sistema DP ou para propósitos de operação e monitoração. Eles se comunicam somente com um escravo por vez.
- Escravos DP – são os dispositivos periféricos, como sensores, válvulas e drives, os quais coletam entradas e enviam saídas com as informações do controlador.

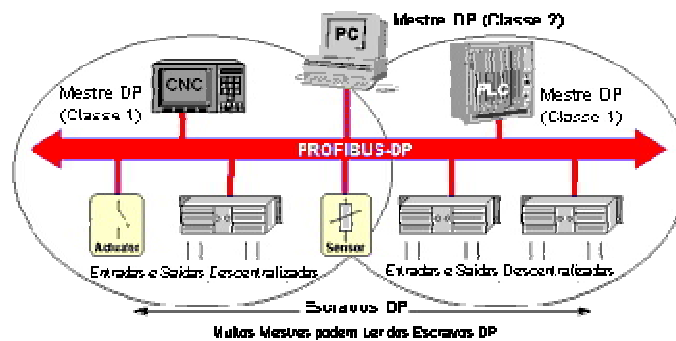


FIGURA 7 – TIPOS DE DISPOSITIVOS.

FONTE: MANUAL SIMATIC S5 (1993).

## Transferência de Dados

O PROFIBUS-DP usa as camadas 1 e 2 da arquitetura OSI, além da interface do usuário. As camadas de 3 a 7 não são definidas para esse barramento.

No PROFIBUS-FMS, as camadas 1, 2 e 7 são definidas. A camada de aplicação (7) consiste do FMS e do LLI (*Lower Layer Interface*). O FMS contém o protocolo de aplicação e provê ao usuário uma ampla seleção de serviços de comunicação. O LLI, por sua vez, implementa as relações de comunicação e provê ao FMS um acesso à camada 2. Na camada 2 (FDL, *Fieldbus Data Link*), está implementado o controle de acesso ao barramento e à segurança de dados.

Como o PROFIBUS-DP e o PROFIBUS-FMS usam a mesma tecnologia de transmissão e um protocolo uniforme de acesso ao barramento, ambos podem operar simultaneamente no mesmo cabo. Esse protocolo é implementado na camada 2 do Modelo de Referência OSI. Essa implementação inclui a segurança de dados e a manipulação da transmissão dos protocolos e telegramas.

## Controle de Acesso ao Meio

No PROFIBUS, a camada 2 é chamada de *Fieldbus Data Link* (FDL). O controle de acesso ao meio assegura que apenas uma estação tenha o direito para transmitir dados de cada vez. O protocolo do PROFIBUS é projetado para atender a dois requerimentos primários do controle de acesso ao meio:

- Durante a comunicação entre mestres, garante que cada uma dessas estações tenha tempo suficiente para executar as suas tarefas de comunicação dentro de um intervalo de tempo definido.
- Ciclicamente, durante as transmissões de dados em tempo-real, que são implementadas tão rápidas e simples quanto possível para comunicação entre controladores (mestre) e os seus equipamentos de entradas e saídas (escravos).

O protocolo de acesso ao barramento do PROFIBUS inclui então os procedimentos de passagem do bastão, o qual é usado pelos mestres para comunicação entre eles, e o procedimento mestre–escravo, utilizado para comunicação dos controladores com os equipamentos simples de entradas e saídas. Com esses métodos de acesso são possíveis as implementações das seguintes configurações:

- Sistema puramente Mestre–Escravo;
- Sistema puramente Mestre–Mestre (com passagem do bastão);
- Uma combinação dos dois.

Outra tarefa importante da segunda camada é a segurança de dados, pois os formatos dos quadros dessa camada asseguram alta integridade dos dados. Isso é obtido usando delimitadores de início e fim especiais, livres de erro de sincronização e um bit de paridade para cada byte. A camada 2 opera ainda no modo sem conexão.



## **Interfaces de *Hardware***

Existe o chip ASIC SPC3 (*Siemens PROFIBUS Controller*) disponível para prover soluções para escravos inteligentes, isto é, implementações que utilizam um microprocessador.

O chip ASPC2 (*Advanced Siemens PROFIBUS Controller*) é primariamente concebido para trabalhar como mestre, devido à sua complexidade. Embora tenha integrado muitas partes da camada 2, necessita do suporte de um processador.

As aplicações simples são implementadas pelos chips ASIC chamados SPM2 (*Siemens PROFIBUS Multiplexer*) e LSPM2 (*Lean Siemens PROFIBUS Multiplexer*). O LSPM2 suporta até 32 Bit de E/S e 8 Bit de diagnósticos. O SPM2 Suporta 64 Bit de E/S e 16 Bit de diagnósticos. Todos os chips ASIC trabalham em taxas de até 12 Mbit/s e suportam o protocolo PROFIBUS-DP. O chip ASPC2 suporta também o protocolo PROFIBUS-FMS.

## **Normas**

O PROFIBUS está especificado basicamente pela norma alemã DIN 19.245 parte 1 a 3 e pela norma europeia EN 50170 parte 3.

### **2.4.2. DEVICENET**

#### **Sistema DeviceNet**

De acordo com Gama (1999), a rede DeviceNet foi introduzida no Brasil em 1996 e integra dispositivos que trabalham com diferentes tabelas de dados internos, desde sensores com 1 *byte* de informação até inversores de frequência com cerca de 300 *bytes*, mas que necessitam de um razoável desempenho, uma vez que estão envolvidos em sistemas de intertravamento de alta velocidade de resposta. O protocolo é otimizado para essas aplicações

de modo a possibilitar o uso de taxas não superiores a 500 kbps, o que é especialmente interessante se considerarmos o custo de instalação para o ambiente.

O manual do fabricante define a rede DeviceNet como uma rede de baixo nível, para sinais digitais e analógicos, que possibilita a conexão entre elementos industriais simples e equipamentos de alto nível, como CLPs e computadores.

Vitor (2000) complementa que essa rede baseia-se na tecnologia CAN, a qual ainda é utilizada em veículos para controle de freio ABS e *air-bag*, devido à sua robustez, ao baixo tempo de resposta e à alta confiabilidade. Utiliza o modelo produtor–consumidor, que possibilita o acesso a informações de diagnóstico de cada dispositivo, detectando os problemas antes que ocorra uma parada do processo.

As vantagens do modelo produtor–consumidor manifestam-se pela possibilidade de conexão de vários controladores e vários mestres na mesma rede e pela comunicação ponto-a-ponto entre dispositivos (*peer-to-peer*), possibilitando também a troca de dados por *polling*, por exceção (*change-of-state*) e de forma cíclica, como será visto adiante no tópico Transferência de Dados.

Os dois principais propósitos do DeviceNet são:

- Transporte de informação associada com dispositivos sensores e atuadores.
- Transporte de outras informações utilizadas indiretamente pelo sistema controlado.

### **Topologia**

Lopez (2000) detalha essa rede como uma topologia linear, com capacidade de até 64 nós, bits/mensagem 64 bidirecional com velocidade de transmissão relacionada diretamente à distância da instalação de acordo com a Tabela 2.

TABELA 2 – TAXA DE TRANSMISSÃO DEVICENET X DISTÂNCIA.

<b>Velocidade de Transmissão (Kbps)</b>	125	250	500
<b>Distância de Cabo Trunk (m)</b>	500	250	100

FONTE: LOPEZ (2000).

O meio de transmissão consiste em um cabo com dois pares trançados, com blindagem, que transmitem tanto alimentação elétrica (24 VDC) como o sinal (CAN+ e CAN- ) pelo mesmo meio.

Vitor (2000) complementa que essa rede utiliza o tronco com ou sem derivações, podendo a remoção de nós ser feita sem afetar a integridade da rede, mas necessita de terminações de 121 Ohms nos extremos do cabo tronco.

### **Elementos do Bus**

A rede DeviceNet consiste no modelo mestre–escravo, com um protocolo no qual todos os dispositivos têm estabelecida uma prioridade de conexão à rede e a troca de informação requer o atendimento dos seguintes fundamentos:

- Identidade – as informações de um dispositivo são armazenadas e ajudam os demais na identificação dentro da rede. Cada dispositivo tem seus próprios parâmetros, que definem sua atuação.
- Roteador de Mensagem – transaciona a mensagem recebida e decide seu destino.
- Dispositivo de DeviceNet – esse dispositivo armazena todas as informações do sistema.
- Conexão – realiza a conexão do módulo e transaciona mensagem explícita e mensagem de I/O.

A mensagem explícita contém as informações do módulo e a mensagem I/O contém as informações de estado dos dados na entrada e saída do módulo. Para operar em tempo real, essa mensagem deve ser enviada o mais rápido possível e possuir um identificador CAN baixo (maior prioridade). Esse método (método da conectividade direta) proporciona comunicação otimizada e função de diagnóstico entre dispositivos.

### **Transferência de Dados**

O método para troca de dados pode se alternar entre o *Polling*, Mudança de Estado e o Cíclico.

- *Polling* – é o método mais tradicional e o mais utilizado entre as redes origem–destino. Consiste em um módulo com o status de mestre, o qual passa por todos os dispositivos da rede para entregar e/ou recolher informações.
- Mudança de Estado – método que permite que o módulo com o status de mestre somente acesse a determinado dispositivo quando ele precisar de alguma informação, da mesma forma, o dispositivo inteligente, mesmo com o status de escravo, informa ao mestre quando possui alguma informação nova para ser entregue. Em outras palavras, um dispositivo ora é consumidor, ora é produtor; ou seja, trata-se de um recurso que permite somente tráfego por exceção.
- Cíclico – método que permite definir o intervalo para a execução do *polling* em determinado dispositivo. A proposta é que o sistema possa retardar a aquisição de dados provenientes de dispositivos que não sejam críticos, ao mesmo tempo em que libera a rede para a execução das tarefas prioritárias através do *polling* e da “mudança de estado”.

Essa possibilidade de configuração é uma ferramenta extremamente poderosa e sua utilização requer, principalmente, o conhecimento das características do

processo. Portanto, três métodos convivem numa mesma rede e compete ao profissional que estiver configurando a rede utilizá-los quando desejável.

### **Controle de Acesso ao Meio**

Lopez (2000) cita que a rede DeviceNet consiste em um sistema de *bus* serial com capacidade para múltiplos mestres, ou seja, todos os nós são habilitados para transmitir dados, e Vitor (2000) ratifica que no modelo produtor–consumidor a informação é colocada na rede por um dispositivo que se identifica e todos aqueles que precisarem consomem a mesma. Dessa forma, os recursos da rede são utilizados de maneira racional e muito mais eficiente de que o modelo mestre–escravo.

### **Interfaces de *Hardware***

Alguns fabricantes dos chips CAN: Motorola, Philips e Hitachi.

### **Normas**

O padrão DeviceNet é de propriedade da ODVA.

### **2.4.3. INTERBUS**

#### **Sistema Interbus**

De acordo com Fachbuch (1999), o sistema Interbus consiste em um barramento serial, utilizado para interligar sensores e atuadores ao sistema de controle, empregando o procedimento de acesso do tipo mestre–escravo, no qual o mestre do barramento atua simultaneamente como uma interface para o nível superior bem como para o sistema do barramento. A topologia é um sistema em anel, isto é, todos os elementos estão conectados em um caminho de transmissão fechado.

Cada módulo amplifica o sinal de entrada e o envia ao módulo seguinte, possibilitando assim a obtenção de grandes distâncias. Diferente de outros sistemas em anel, os dados seguem e retornam no sistema Interbus, passando por todos os módulos através de um único cabo. Isso significa que a aparência do sistema é de uma estrutura em árvores aberta. Um barramento principal parte do mestre da rede e pode ser utilizado para abrir sub-redes em até 16 níveis. Isso significa que o sistema pode ser facilmente adaptado para mudanças em aplicações, pois apresenta elevada flexibilidade em sua topologia, possibilitando a conexão de até 512 módulos, sendo que o anel é automaticamente fechado no último equipamento.

Diversas topologias podem ser criadas e elementos de adaptação entre os segmentos de barramentos habilitam a conexão e a desconexão de subsistemas no evento de um erro ou na expansão de um sistema.

No sistema Interbus, o endereçamento é realizado automaticamente utilizando seu posicionamento físico no sistema. Essa função *plug and play* consiste em uma grande vantagem no serviço de instalação em que os problemas que podem ocorrer quando os módulos são endereçados manualmente durante a instalação são freqüentemente subestimados.

A tecnologia de transmissão freqüentemente utilizada no Interbus é o RS-485, mas existe também a possibilidade de se utilizar fibra ótica, guias de onda e transmissores infravermelho.

A taxa de transmissão utilizada como padrão é a de 500kbit/s e 2Mbit/s para aplicações futuras com restrições críticas no tempo.

### **Topologia e Estrutura**

Esse sistema utiliza-se de um anel ativo, que não permite conflito de endereçamento e a distribuição dos elementos no campo só depende da distância entre cada elemento.

Num sistema com barramento linear, todos os elementos concorrem no sistema de cabeamento, não possibilitando a regeneração do sinal e eventualmente ocasionando o conflito de endereçamento. A máxima distância entre dois elementos depende da máxima distância livre entre um par emissor/receptor no barramento. O número de elementos é limitado, sendo que cada novo elemento acrescenta uma nova carga para os demais que já estavam presentes.

Uma forma mista entre os dois variantes forma um anel ativo como um barramento linear, isto é, uma estrutura de anel é montada em forma de um barramento linear conforme verifica-se na Figura 8. Mecanicamente o cabo é montado como um barramento linear, mas eletricamente é montado como um anel.

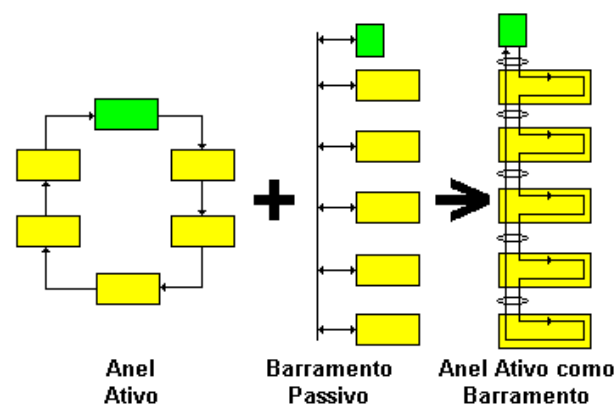


FIGURA 8 – ESTRUTURA DO INTERBUS.

FONTE: FACHBUCH (1999).

Dessa forma utiliza-se das vantagens dessa estrutura. No entanto, uma interrupção em um módulo da rede pode paralisar o sistema parcialmente.

Essa topologia emprega como meio de transmissão elétrica um cabo par trançado blindado e segue as especificações do padrão RS-485, utilizando-se conectores de 9 pinos tipo D-sub. A codificação dos dados é NRZ e a taxa de transferência padrão é de 500kbit/s, observando que a distância máxima de um

trecho remoto do barramento de é 400 metros. O número de elementos no barramento remoto é de no máximo 256 elementos e o número total no barramento é de 512 elementos. O comprimento máximo da rede é de 12,8 km. e a transmissão é do tipo *full-duplex* e assíncrona.

Conforme já mencionado, o barramento possibilita a distribuição em até 16 níveis, formando assim ramificações e, mais recentemente, por meio da utilização de módulos especiais, tornou-se possível a formação de configurações em estrela.

A Figura 9 mostra os elementos que formam uma estrutura de um sistema Interbus e suas características são descritas na seqüência (Fachbuch, 1999):

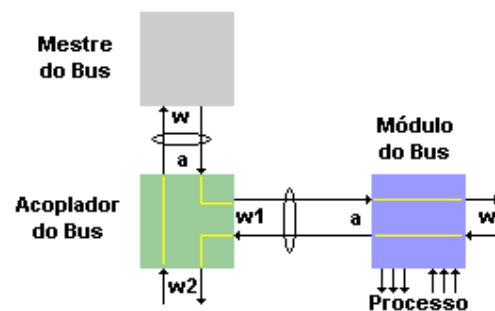


FIGURA 9 – ELEMENTOS DO BUS.

FONTE: FACHBUCH (1999).

- Mestre do Bus – um único mestre de comunicações em sistema de anel controla todo o fluxo de informações, no qual existe uma interface para um segmento remoto do barramento, e todos os demais elementos do barramento, como escravos, estão acoplados.
- Acoplador do Bus – é um elemento escravo que possui uma interface de chegada de um segmento remoto do barramento e duas interfaces de saídas como segmento remoto e/ou segmento local, dividindo o sistema em segmentos.



- Módulo do Bus – possui uma interface de chegada e uma de saída e ao mesmo tempo interliga os elementos de entrada e saída de campo, dispostos nas mais diversas formas, como analógicos ou digitais, independente do elemento funcionar num segmento local ou remoto do barramento.
- Segmento do Barramento – é formado pelo cabo e seus respectivos conectores, que estabelece a conexão entre o mestre, o acoplador.

O Interbus tem a capacidade de transmitir até 4.096 pontos de entrada e/ou saídas digitais ou 256 pontos de entrada e saída analógicos, podendo ser dispostos em duas configurações de barramentos: Barramento Remoto e Barramento Local.

### **Transferência de Dados**

O protocolo Interbus está estruturado em três camadas de acordo com o modelo ISO/OSI. A camada 1 é o nível físico, que especifica as condições de tempo, tais como taxa de transmissão e também as especificações do cabo. Na camada 2, que garante a integridade dos dados através de sua DLL, suporta os dois tipos de dados existentes na tecnologia dos sensores/atuadores, que são os dados cíclicos e os parâmetros não cíclicos. A interface para aplicação é proporcionada pela camada 7.

Trabalha com um formato de quadro único e esse protocolo possibilita uma transferência eficiente, rápida e eqüidistante no tempo de dados de entrada e saída.

### **Controle de Acesso ao Meio**

No Interbus, a DLL tem uma característica importante que é ser determinística, isto é, garantir o tempo no transporte cíclico de dados entre os elementos remotos. Isto deve-se ao procedimento de quadro único, que está em uma classe de transmissão TDMA (*Time Division Multiple Access*) livre de colisão. O

que significa que para cada elemento está alocado um *slot* de tempo compatível com sua função, o qual se torna simples para calcular o tempo de transmissão como sendo a soma de todos os *slots* de tempo. Pode-se ainda adicionar *slots* de tempos para o modo de conexão de blocos de dados quando necessários. Dessa forma, blocos de dados de alguns *Mbytes* podem ser transmitidos pelo sistema sem alteração do tempo de ciclo, utilizado para os tipos de dados de processo. A independência desses dois tipos de dados um do outro é decisiva na capacidade de performance do protocolo e da habilidade para realizar controle de tarefas em malha fechada.

O protocolo garante que a imagem do processamento seja consistente, uma vez que todas as entradas de dados originam do mesmo ciclo de varredura e todas as saídas de dados dos elementos são recebidas ao mesmo tempo. Uma outra vantagem adicional é a alta taxa de eficiência do protocolo, isto é, a quantidade adicional total de dados (*overhead*) utilizada é pequena em comparação com o total de dados úteis (dados do processo). Em comparação com outros protocolos de barramento, a taxa de transmissão física pode ser mantida baixa, refletindo diretamente nos custos dos componentes e cabos, bem como na melhora da imunidade a ruído.

O procedimento de quadro único é implementado no Interbus por meio de uma estrutura de registradores. Cada elemento do barramento participa do anel com um registrador de deslocamento (*shift-register*), com o tamanho determinado pela quantidade de pontos de dados do processo.

No mestre, existe um registrador de deslocamento de saída de dados e um outro para chegada dos dados. Os dados de saída do processo para os equipamentos periféricos são colocados no registrador de saída do mestre de acordo com a ordem física em que estão conectados os equipamentos. Um ciclo de transmissão começa com uma seqüência de dados, na qual inicialmente uma palavra especial de controle (*Loop Back Word*) é seguida dos dados de saída. Todos os elementos do barramento estão com os dados de entrada em seus respectivos registradores.

Durante a saída de dados, ocorre simultaneamente o fluxo de retorno com as informações do processo, que chegam num registrador de entrada do mestre, como dados de entrada. Após a transmissão de todas as informações relativas a um mesmo ciclo, os dados de saídas estão corretamente posicionados nos elementos e os dados de entrada no registrador de entrada do mestre.

Depois da transmissão dos dados, ocorre uma seqüência de controle de erro FCS (*Frame Check Sequence*) composta por 32 bits. Esses dados de controle são gerados com um procedimento de controle de erro. Devido à estrutura de comunicação ponto-a-ponto, o mecanismo de controle de erro é executado sempre entre dois elementos vizinhos. Controlado pelo FCS, a troca e a comparação do resto do polinômio de controle de erro são transmitidos simultaneamente para todos os elementos.

Adicionalmente ao ciclo de transmissão de dados, existe também um ciclo de identificação que também está definido na camada DLL. Esse ciclo funciona para o gerenciamento do barramento, pois cada elemento tem um código de identificação da camada 2, o qual informa o tipo do dispositivo e a quantidade de dados utilizados. A configuração do sistema do barramento é feita utilizando-se uma seqüência de ciclos de identificação, o qual é realizado pelo mestre para ler os códigos dos elementos. Após o ciclo de identificação, o mestre sabe exatamente quantos elementos compõem o barramento e quantas palavras de dados deve reservar para cada um.

No Interbus, existem dois princípios diferentes de comunicação, que são:

- Canal de dados do processo – no qual é feita uma transferência cíclica dos dados do processo entre o controlador e os módulos de entrada e saída, que assegura sempre os *status* atualizados. Quanto mais rápida for a troca de dados, mais cedo obtêm-se os *status* dos mesmos. Devido a esse ciclo de atualização, uma única transferência é relativamente insignificante. Dessa maneira, a transmissão envia também a correção de erro, podendo essa transferência reconhecer e corrigir o erro.

- Canal de parâmetros – esse canal é utilizado para transmitir informações complexas, mas somente quando requisitado. A premissa para o sucesso de uma comunicação, e que o sistema de barramento a garanta, é que, uma única vez enviada, a mensagem seja recebida. Uma correção de erros como no canal de dados do processo não pode ser utilizada. Um protocolo de transferência com confirmação de recebimento é, então, aqui utilizado. Juntamente com as mensagens transmitidas, são trocados também informações de protocolo.

### **Interfaces de *Hardware***

O Interbus está implementado como mestre com um chip chamado IPMS-3 (*INTERBUS-S Protocol Microcontroller*). Os elementos escravos são implementados com um chip SUPI 3 (*Serial Universal Protocol Interface*). Esse chip implementa as camadas 1 e 2 do protocolo, facilitando a implementação e a normalização.

### **Normas**

O Interbus está especificado basicamente pela norma alemã DIN 19.258 e pela norma europeia EN 50254.

#### 2.4.4. TABELA DE RESUMO DOS TRÊS *FIELDBUSES*

A Tabela 3 apresenta comparativos técnicos relativos às redes de comunicação de dados Interbus, Profibus DP e DeviceNet

*TABELA 3 – COMPARATIVO TÉCNICO ENTRE AS REDES INTERBUS, PROFIBUS-DP E DEVICENET.*

CARACTERÍSTICAS	INTERBUS	PROFIBUS-DP	DEVICENET
Número de ilhas na rede	256	126	64
Taxa de transmissão	500 kbd	19.200 - 12.000 kbd	125, 250, 500 kbd
Comprimento do cabo com a taxa de transmissão máxima	12,8km (500 kbd) 400m (pto a pto)	100m (12 Mbd)	125m (500 Mbd)
Eficiência com 32 componentes	56%	3%	8%
Tempo de Scan medido (16 nós com 16 I/Os)	1,8 ms	-	2ms
Definição de endereço	Automático	Via bus, via switches	Via switch
Instalação	Fácil, em função de 500 Kbd	Necessário konw-how especial 1,5 Mbd	Condutores com tam. diferentes, 125/500m de limite
Topologia com fibra ótica	Anel	Estrela, Anel (com acoplador "t" especial)	Possível (economicamente inviável)
Acesso ao bus	Mestre-escravo	Token-Pass com Mestre-escravo subordinado	CSMA/CA
Tipo de protocolo	Orientado a I/O	Orientado a mensagem	Orientado a mensagem
Camada ISO / OSI	INTERBUS	PROFIBUS-DP	DEVICENET
Camada 1	Padrão RS485	Padrão RS485	Padrão RS485 modificado
Camada 2	DIN E 19258	DIN 19245 parte1 e DIN E 19245 parte 3	ISO 11898 (CAN)
Camada 3 - 6	Não utilizado	Não utilizado	Não utilizado
Camada 7	DIN 19245 FMS	Não utilizado	Não utilizado

FONTE: FORTES (1998).

## 2.5. JUSTIFICATIVA PARA A UTILIZAÇÃO DE *FIELDBUSES*

Blome & Jansen (1998) alertam que, devido à crescente competição e pressão sobre os preços, todas as oportunidades para racionalização de processos têm sido exploradas ao extremo pela automação industrial, e uma das práticas que têm resultados comprovados é a automação utilizando *fielbuses*, propiciando simultaneamente redução em tempo de *start-up*, redução do tempo de adaptação das linhas para mudanças necessárias (*set-up*), além de inúmeras vantagens quando comparadas com a utilização de cabeamento paralelo.

No entanto, o crescente nível de automação em máquinas e sistemas traz consigo o aumento da quantidade de cabos necessários para a conexão de sensores e atuadores. Além dos problemas para configuração, instalação, *start-up* e manutenção. As exigências com relação aos cabos são usualmente elevadas, podendo ser ilustradas pelos cabos especiais com blindagem, necessários para transmissão de sinais analógicos.

O *fieldbus* substitui todo esse montante, um único cabo, que é capaz de interligar todos os níveis, isto é, do chão de fábrica ao nível de controle. Independente do tipo de equipamento utilizado na automação, do meio de transmissão e dos componentes. Eles podem ser distribuídos em qualquer lugar no campo e conectados localmente.

Dentre as vantagens com relação ao cabeamento paralelo tradicional, destacam-se:

- Redução do montante de cabos.
- Redução no tempo de projeto e instalação.
- Redução de cabos, conectores, painéis, que implica na redução de espaço para a automação.
- Redução de tempo de parada de produção (*down time*) devido ao sistema de autodiagnóstico, que apresenta diagnósticos simples de falhas.

- Aumento de confiabilidade e disponibilidade do sistema.
- Facilidade de expansão e modificação, oferecendo assim flexibilidade e proteção de investimento.

### 3. MÉTODO

O objetivo deste trabalho consiste no desenvolvimento de um método que possibilite identificar e classificar o modelo de produção de qualquer empresa, associando-o ao tipo de *fieldbus* mais indicado.

No entanto, o método a ser desenvolvido apresenta características restritivas, devendo somente ser aplicado em processos com características próximas ao utilizado no estudo de caso, ou seja, projetos cujo perfil identifique a utilização da rede Interbus como a mais viável.

Para o desenvolvimento do método ou a identificação do uso do Interbus como o *fieldbus* mais viável foram necessárias pesquisas de campo, sendo a abordagem qualitativa a utilizada. Essa abordagem, de acordo com Chu (2002), é caracterizada por uma maior preocupação do pesquisador com o processo, sendo que nesse caso o pesquisador é o principal instrumento de coleta e análise de dados. Para essa abordagem, a tendência é ser descritiva e indutiva, normalmente envolvendo pesquisa de campo com a presença do pesquisador. A indução, segundo Martins (1999), parte das constatações particulares e procura uma generalização por meio da elaboração de teorias ou leis, mostrando um caminho inverso ao da dedução.

Todo o trabalho baseou-se em um estudo de caso que, de acordo com Westbrook (1994), consiste em documentar, explicar, descrever, avaliar ou explorar situações, com detalhes, quaisquer atividades operacionais dentro das organizações, por meio das quais é possível conhecer com maior profundidade situações reais dentro de uma organização. No entanto, o autor aponta como a maior fraqueza do estudo de caso a validade externa: conhecer uma situação específica não permite ao pesquisador fazer generalizações sobre o caso.

Contudo, Yin (1989) afirma que estudo de casos, assim como experimentos, são generalizáveis em termos de proposições teóricas e não para populações ou universos. Nesse sentido, o estudo de caso não representa uma “amostra” e



o objetivo do investigador é expandir e generalizar teorias (generalização analítica), e não enumerar frequências (generalização estatística). Sendo assim, o número de amostras pode ser reduzido se a intenção for apenas de generalização analítica, que de acordo com Bryman (1989) indica tendências e características de ação de maneira teórica.

#### 4. ELABORAÇÃO DA PROPOSTA DE TRABALHO

O trabalho iniciou-se pela pesquisa bibliográfica e, durante essa atividade, verificou-se a escassez de publicações que tratem especificamente de projetos de automação de forma sistêmica. Grande parte do material encontrado aborda a gestão de projetos de forma genérica.

Esse fenômeno justifica-se por três motivos:

1. Por tratarem-se de sistemas especialistas, que apresentam como característica a baixa repetição, grande parte das empresas desse segmento acaba empenhando-se na solução imediata e pontual de projetos, não preocupando-se ou ocupando-se em transformar o conhecimento empírico em método, que possa ser testado e aprimorado ao longo de sua existência.
2. Mecanismo de defesa contra seus concorrentes ou potenciais concorrentes, pois algumas empresas acreditam que documentando seu conhecimento podem de alguma forma expor seu *know-how*.
3. Significativas divergências normalmente ocorrem na concepção de um mesmo projeto de automação segundo a óptica de diferentes empresas. Essa discordância impacta diretamente no orçamento do projeto de automação, devido à diferença de formação ou especialização das empresas que participam do processo, sendo que cada uma desenvolveu seu conhecimento do negócio de acordo com o ambiente ao qual tenha sido mais exposta e de alguma forma acaba por assumir que o conhecimento adquirido trata-se de uma verdade absoluta, não abrindo-se para a discussão de novos modelos.

Conforme Moraes & Castrucci (2001), “a atual literatura da engenharia de automação apresenta uma lacuna importante no que se refere a um processo metódico de caminhar desde a especificação verbal da automação desejada e

da descrição técnica/verbal do processo ou planta existente até o projeto conceitual dos controladores e seus *softwares*". Os autores alertam que, ao estimar custos dos recursos necessários para a implantação de uma automação industrial, e ao prever prazos factíveis, dados estes essenciais na etapa da pré-venda e da contratação, a empresa fornecedora enfrenta grandes riscos.

Buscou-se por meio de pesquisas de campo identificar e mapear o comportamento de empresas de engenharia com atuação no segmento de automação industrial, respaldado por Chu (2002), que afirma que "... a utilização de questionários abertos ou semi-abertos tem se prestado bem ao papel de coleta de dados para a pesquisa qualitativa, pois permite a aproximação do pesquisador e a possibilidade de captação das diversas maneiras de pensar dos indivíduos". Ressalta-se, no entanto, que não se pode ignorar que em qualquer organização existem pressões internas que buscam demonstrar sempre o sistema adotado como o mais completo, omitindo-se assim eventuais falhas detectadas durante a pesquisa e podendo causar eventuais desvios durante a mesma. Deve-se considerar ainda que todas as empresas entrevistadas concorrem em um mercado relativamente fechado e também que o autor faz parte do quadro de fornecedores de todas as empresas entrevistadas.

#### **4.1. CENÁRIO ATUAL**

Cada vez mais as empresas interessam-se pelo gerenciamento de custos, pois a redução destes alinhada à manutenção ou ao aumento das receitas é um dos meios de aumentar os lucros. De acordo com Cohen & Grahan (2002), a desejada redução de custos somente torna-se possível mediante o foco em duas áreas críticas:

- Execução apenas de atividades agregadoras de valor, ou seja, aquelas que, sob a perspectiva dos clientes, adicionam utilidade aos produtos ou serviços.

- Gerenciamento com eficácia dos vetores de custo das atividades agregadoras de valor, ressaltando-se que o vetor de custo é qualquer fator que influencie o custo de um objeto de custeio.

Essa reavaliação de postura, consonante com movimentos de redução de custo, implica alterações no perfil e no padrão de relacionamento entre os dois mercados. O primeiro, responsável pela demanda de serviços de engenharia e o segundo, pela oferta dos mesmos.

As empresas contratantes que optam pela excelência em sua atividade fim decidem pelo quadro adequado à manutenção e gestão mínima de seus recursos, criando assim a figura do gerente de projetos, que Maximiano (1997) atribui como principal papel, o de planejador, cuja função é a de assegurar a preparação do projeto, com garantia de qualidade técnica, recursos aprovados e consenso de todos os *stakeholders* relevantes.

Cohen & Grahan (2002) advertem que a seleção desse gerente deve ser criteriosa, recomendando um profissional ávido por desafios, motivado, treinado adequadamente para a gestão de projetos e com dedicação exclusiva aos mesmos, pois o adendo a suas atribuições de rotina pode consistir em fator de insucesso ao projeto. Ainda segundo os autores, a capacitação do exercício das tarefas do gerente de projetos é decorrente da compreensão do propósito da estratégia da empresa e a importância de manter o foco estratégico durante a gestão do projeto. Torna-se imprescindível o alinhamento para conseguir a compatibilidade estratégica, pois, caso não exista o alinhamento estratégico, o projeto será presa fácil de uma das seguintes práticas destrutivas:

- Excesso de ênfase na tecnologia como fim em si mesma, resultando em projetos que ficam à deriva, com uma tecnologia incompatível com a estratégia ou com as necessidades dos clientes internos.
- Foco em problemas ou soluções de baixa prioridade estratégica.
- Foco apenas no cliente imediato, em detrimento do mercado como um todo e na cadeia de valor.

- Tentativas de resolver com o produto ou serviço os problemas de todos os clientes, em vez de concentrar-se em 20% dos clientes com 80% do valor para a empresa.
- Envolvimento numa busca sem fim pela perfeição em aspectos que não são relevantes para ninguém, senão para a própria equipe de projeto.

Embora seja a multitarefa contraproducente em termos de prazo de execução, na prática é um fenômeno organizacional muito comum, destacada ainda em Cohen & Grahan (2002): “A maneira mais rápida de fazer alguma coisa é mediante o foco exclusivo, sendo que um dos argumentos centrais do livro pioneiro *The Mythical Man-Month* (Brooks, 1975) é que ninguém consegue dividir-se entre várias atividades sem perda de produtividade. Ou seja, quando se começa a repartir o esforço das pessoas entre vários projetos, a idéia de que sua produção total nos vários projetos seria igual à que apresentaria caso se dedicasse a um único projeto é um mito. Fazer com que as pessoas trabalhem em vários projetos ao mesmo tempo, abordagem geralmente chamada de multitarefa, é receita certa para dispersão de foco, redução da produção e alongamento do prazo de execução, com perdas em todas as frentes.”

Devido a essas restrições, dentre outras, esse profissional usualmente opta pela solução menos trabalhosa, ou seja, a manutenção de antigos prestadores de serviços ou mesmo empresas compostas por antigos funcionários e que já mantinham uma relação de confiança com a mesma.

Esse posicionamento, embora possa significar segurança, traz como aspecto negativo a estagnação, quer seja em tecnologia, quer seja em custos, e pode dificultar a comparação dos serviços prestados com aqueles que a empresa realmente ambiciona, ao longo do tempo.

Esse processo, no entanto, é respaldado comercialmente pelo procedimento de comparação entre orçamentos, em que de posse do orçamento realizado pelo usual prestador de serviços, que encontra-se em vantagem devido à

familiarização com o sistema, muitas vezes até mesmo melhor que o solicitante, busca outros orçamentos no mercado, simplesmente por uma questão de legitimação de seu processo interno de compras.

Cohen & Grahan (2002) criticam essa postura afirmando que o mote “Faça-o rápido. Faça-o bem. Faça-o barato” faz parte do folclore da gestão de projetos, a respeito das expectativas da alta gerência. “Escolha dois” é a resposta tradicional do gerente de projetos. Quase sempre o “Faça-o barato” é uma das duas opções da alta gerência quanto aos objetivos do projeto. Contudo, apenas quando os tomadores de decisões compreendem as implicações mais amplas de suas deliberações, percebem que, ao contrário do que imaginam, o “Faça-o barato” nem sempre contribui para o bom desempenho da empresa. Isso ocorre porque o custo do projeto, ou o custo de produzir o produto, é apenas um dos fatores na determinação do sucesso econômico do projeto.

Dessa forma, o processo entra em uma seqüência previsível, pois os concorrentes externos, às vezes por falta de detalhes sobre os tipos de aplicação aos quais o projeto se destina, acabam apresentando uma oferta normalmente superior à do fornecedor habitual, o que determina a perda da concorrência. Isso consiste em apenas um dos problemas, pois confirma-se o continuísmo do processo de automação, em que a empresa considerada de confiança, normalmente, será a vencedora nas concorrências para fornecimento de novos projetos. E, caso a mesma não se interesse em trazer atualizações e inovações a seu cliente, não será este quem irá buscá-las. Esse processo acaba induzindo a contratante a voltar as costas para novas soluções que poderiam até representar um investimento inicial superior, porém, trariam retornos vantajosos a médio e longo prazo, o que pode ser relevante se estiver de acordo com o plano estratégico da empresa. Outro problema ocorrerá quando uma nova entrante, ou seja, uma nova empresa no segmento desejar iniciar suas atividades e, a qualquer custo, vence por causa de um orçamento muito menor do que o das demais. Certamente uma das partes envolvidas, contratante ou contratada, sairá perdendo ou, na pior das hipóteses, ambas. A contratante estará sujeita a problemas de ordem financeira para o pagamento

de aditivos, que certamente serão propostos pela contratada ao longo do processo e caso não os aceite correrá o risco de ter seu projeto executado abaixo de suas expectativas em qualidade, prazo ou até mesmo abandonado em definitivo, o que registra-se não consistir em casos raros. A contratada poderá ter problemas com fluxo de caixa, o que implicará prestação de um serviço de baixa qualidade, desfavorável à sua imagem perante o mercado, além de poder amargar prejuízos que poderão contribuir para o encerramento de suas atividades de forma prematura. Verifica-se que qualquer que seja o desfecho implicará um elevado desgaste por parte da contratante, sendo que a mesma poderia evitar tal situação no início do processo de concorrência, caso os critérios de seleção de fornecedores fossem adequados.

Quanto às empresas de engenharia, a origem dessas usualmente remete-se a uma das duas causas:

- Um profissional ou um grupo de profissionais que detinham especialização em determinado processo, enxergando uma oportunidade no mercado, partem para a constituição de uma empresa de engenharia.
- Ex-funcionários de empresas desse segmento, motivados pelas perspectivas de ganhos atraentes, resolvem constituir uma empresa.

Conhecendo a origem das empresas de engenharia, torna-se mais fácil a compreensão da perigosa relação de subordinação à empresa que a tenha originado ou mesmo tenha sido seu cliente exclusivo, até então, pois o foco excessivo torna-se um elemento limitador ao crescimento da prestadora de serviços. Sob aspectos comerciais, limita a ofertante a orbitar em torno apenas de um empresa e sob aspectos técnicos pode levar a uma miopia técnica, pois induz a adoção de métodos consagrados em um único ambiente como modelo a ser adotado em novas oportunidades de negócios, assumindo que todas as outras empresas serão iguais àquela com a qual tenha convivido por algum período.

Observa-se em diversos casos que essa ocorrência, usualmente, resulta em prejuízos para a imagem da empresa de engenharia, pois acaba por colocar em dúvida sua competência técnica, e também traz prejuízos às suas finanças, por ter que arcar com custos não previstos, devido às negligências cometidas durante a fase de orçamento.

Dessa forma, uma observação importante a fazer refere-se ao modelo de planejamento das empresas desse segmento, que, devido à particularidade de cada negócio, acabam por absorver uma visão de curto prazo.

Cohen & Grahan (2002) contribuem com uma visão prática sobre a estratégia, que consiste simplesmente na maneira como a empresa se orienta no mercado e atua em relação aos concorrentes, respondendo à pergunta sobre como a empresa se posicionará no longo prazo contra a concorrência para garantir uma vantagem competitiva sustentável. Por sua vez, vantagem competitiva sustentável significa que a empresa desenvolveu meios não apenas para superar a concorrência hoje, mas também para manter-se vitoriosa no futuro.

Verifica-se mais uma vez a congruência deste trabalho com as necessidades desse mercado, pois os meios referidos pelos autores podem ser: uma metodologia mais apurada para elaboração de orçamentos ou mesmo a identificação do perfil de seus clientes para uma possível segmentação de mercado e conseqüentemente um maior foco naquele que tenha uma competência identificada e reconhecida. Tudo isso, no entanto, implica quebra de paradigmas, como “enquanto eu planejo, outros já estão fazendo...”, para o que este trabalho espera poder prestar sua contribuição, pois tem como um dos objetivos o equacionamento de variáveis que compõem um projeto de automação que utiliza a rede Interbus, devendo funcionar como uma ferramenta de apoio para:

- Empresas de Engenharia – por meio deste, conseguirão estimar de forma rápida e segura valores mínimos que atenderão às necessidades do projeto com a rede Interbus.



- Empresas Contratantes – serão capazes de elaborar um custo orientativo para a automação com a rede Interbus, melhorando a qualidade e a segurança do processo seletivo de fornecedores.

Para tanto torna-se relevante a introdução ao conceito de projeto, bem como as variáveis relacionadas diretamente com o tipo de projeto em questão.

## **Projetos**

Hubbard (1993) sustenta que projetos são orientados para metas ou alvos e definidos pelos objetivos operacionais ou técnicos que se pretende atingir. São tarefas específicas, singulares, complexas, finitas e com recursos limitados, que se compõem de inúmeras tarefas menores inter-relacionadas.

De acordo com Maximiano (1997), as características principais que definem os empreendimentos chamados projetos são:

- Objetivo – projetos são empreendimentos finitos, que têm objetivos claramente definidos em função de um problema, oportunidade ou interesse de uma pessoa ou organização. O resultado do projeto é o desenvolvimento da solução ou atendimento do interesse, dentro das restrições de tempo e recursos. Para definir o grau de sucesso do resultado do projeto é preciso verificar se esses critérios foram atendidos. Não alcançar o objetivo, não realizá-lo dentro do prazo previsto ou consumir recursos além do orçamento significam comprometer dimensões importantes do desempenho esperado.
- Relação fornecedor–cliente ou fornecedor–usuário – projetos em geral envolvem relação entre fornecedor e cliente ou usuário, que pode ter encomendado ou comprado uma solução ou idéia, ou que a avaliará quando for desenvolvida. Por exemplo, a diretoria da empresa é cliente da divisão da engenharia. A satisfação do cliente ou usuário é um dos principais critérios para avaliar o grau de sucesso do projeto.

- Singularidade – projetos são “rotineiramente singulares”, portanto não há dois iguais.
- Incerteza – projetos têm um componente de incerteza, que cerca o resultado esperado, as condições de realização, ou ambos. Muitos projetos partem de um problema no presente para desenvolver uma solução desconhecida no futuro. Quanto maior o grau de desconhecimento, maiores a incerteza e o risco. Por causa disso, os projetos também são diferentes das atividades regulares, que se realizam dentro de condições de certeza. Essas são as chamadas atividades funcionais ou operações.
- Administração específica – as atividades ou situações que apresentam essas características têm maior probabilidade de êxito quando são administradas por meio de técnicas específicas, as técnicas da administração de projetos. Em essência, essas técnicas consistem em utilizar recursos em competências especializadas, integrando-as de maneira a possibilitar a transformação de idéias em resultados.

Ainda de acordo com Maximiano (1997), os critérios que possibilitam a diferenciação entre projetos e demais atividades finitas de rotina passam pela identificação dos seguintes indicadores na atividade:

- Natureza intrínseca de projeto – a atividade tem começo, meio e fim previsíveis ou programados.
- Complexidade e especificidade do problema – diferencia-se em relação às atividades de rotina.
- Grau elevado de desconhecimento sobre a solução ou maneira de atingi-la.
- Multidisciplinaridade do problema ou solução e diversidade de recursos e competências envolvidas.
- Importância do problema para o cliente ou usuário do resultado.
- Inexorabilidade do prazo para a apresentação da solução.

Sobre a importância dos prazos de execução, Cohen & Grahan (2002) atestam que “... a maioria dos exemplos sobre a importância da redução do prazo de execução são de novos projetos de desenvolvimento, nos quais o fim do projeto define a data em que os resultados do projeto estão prontos para o mercado, daí a justificativa de investir mais no projeto, com vistas à adoção de boas práticas gerenciais, a fim de reduzir o prazo de execução. De acordo com um estudo da McKinsey & Company (Dumaine, 1989), se o projeto incorrer em atraso equivalente a 10% da vida projetada do produto, o prejuízo será de mais ou menos 30% do lucro potencial. Contudo, se o projeto estourar o orçamento em 50%, mas for concluído no prazo, o prejuízo será de apenas 3% do lucro potencial. O estudo da McKinsey adotou muitas premissas restritivas e, portanto, não deve ser interpretado como projeções absolutas dos resultados de variações no prazo de execução de todos os tipos de projetos. No entanto, as descobertas do estudo de fato sugerem que as empresas podem obter lucros significativos com a rapidez de chegada ao mercado e em geral esses ganhos superam várias vezes os custos adicionais para aumentar a velocidade. Com base em estudos da mesma natureza, é possível concluir que, apesar da importância de variáveis como características, qualidade, desempenho e valor para o cliente, um dos fatores relevantes para o aumento do valor econômico talvez seja a capacidade de executar o projeto com rapidez”. Todavia alerta que os principais motivos para os prazos de execução superarem as previsões iniciais são:

- Falta de direção da equipe – a falta de direção pode ocorrer quando o líder é o chamado gerente de projetos por acaso, alguém que não recebeu treinamento para atuar nessa função específica e para quem o projeto não passa de um adendo às suas atribuições de rotina.
- Falta de continuidade – quando é alta a rotatividade entre os membros da equipe de projetos e o trabalho muda de mãos com frequência. O andamento do projeto invariavelmente torna-se mais moroso, pois a transferência raramente ocorre sem atrito, sendo comuns as situações em que as sobreposições e repetições são inevitáveis ou, ao menos,

consideradas necessárias. Raros são os profissionais capazes de aproveitar o trabalho alheio sem críticas e reparos, pensando ou dizendo algo do tipo “Oba, isso está ótimo! Posso usar como está”. A reação mais comum é: “Isso está um lixo, terei que fazer tudo de novo!”.

- Falta de foco – se os membros da equipe de projetos trabalham em vários projetos em vez de dedicar-se em tempo integral a apenas um, o grau de concentração sai prejudicado. Todos sabem que o cumprimento de metas difíceis exige foco. Quando o foco dos membros das equipes de projetos é difuso, a consequência é o retardamento de todos os projetos.
- Falta de espírito de equipe – no momento em que os membros das equipes estão espalhados em várias localidades, raramente vêem-se uns aos outros e não participam de atividades de desenvolvimento de equipes, é difícil para eles conhecer a composição exata da equipe, para não falar em construir o espírito de equipe.
- Falta de comprometimento – se a alta gerência e outros *stakeholders* não estão de fato comprometidos com o funcionamento do projeto, os próprios gerentes de alto nível transferem os membros das equipes para outras tarefas, reduzem os fundos disponíveis, escalam o pessoal de mais baixo nível para o projeto e de várias outras maneiras contribuem para o alongamento do prazo de execução.

Por meio da descrição do ciclo de vida do projeto de Maximiano (1997), torna-se possível a visualização do mesmo desde seu início até a sua conclusão, possibilitando o estudo e a aplicação sistêmica das técnicas de administração de projetos. O ciclo de vida de um projeto divide-se basicamente em quatro fases, e sempre há elementos para que uma nova fase comece quando a anterior se aproxima de seu final. Esse processo de sobrepor as fases do projeto é chamado de *fast-tracking*.

As fases mais comuns destacadas pelo autor são:

- Preparação – também chamada de fase de conceituação, concepção, ou ainda, fase de desenho do projeto. Nesta, define-se o objetivo, com base para o esclarecimento das expectativas de seus clientes, e preparam-se os planos preliminares do projeto.
- Estruturação – fase em que predominam as atividades de detalhamento dos planos operacionais e organização da equipe do projeto, na qual se mobilizam os meios e recursos para a realização do projeto.
- Desenvolvimento e implementação – fase em que os planos são colocados em prática e o projeto começa a ser efetivamente realizado. A solução é desenvolvida e implementada.
- Encerramento – o projeto chega ao término e, neste ponto, idealmente, o projeto atinge o resultado previsto, No entanto, o encerramento não é o fim do projeto. Muitas atividades precisam ser realizadas depois do projeto terminar: implantação de soluções, manutenção, treinamento, venda de produtos e idéias, identificação e planejamento de novos projetos.

Todas as fases têm começo, meio e fim, com seus próprios resultados e seu próprio ciclo de vida. No entanto, uma das fases de particular interesse neste trabalho consiste na Preparação, em que, de acordo com Maximiano (1997), encontra-se o processo de elaboração da proposta, que consiste de um plano operacional em formato que possibilite sua análise e aprovação em um instância superior à das pessoas que o elaboraram. Em geral, a proposta de projeto é produzida ao final da fase de definição do mesmo. Seu conteúdo é basicamente o plano operacional, em uma embalagem diferente. É o instrumento de apresentação das idéias da equipe e serve como base para a decisão de iniciar, aprovar ou patrocinar o projeto, pois contém a descrição do produto que o projeto deve fornecer, os objetivos imediatos desse produto e a contribuição para a realização de um objetivo final. A ligação entre os produtos e os objetivos deve ser enfatizada além da apresentação de um cronograma de execução e uma estimativa de custo.

A proposta do projeto é uma ferramenta extremamente importante de administração, pois é o registro das idéias a respeito do projeto e de suas condições de realização, ajudando na análise, no esclarecimento e na tomada de decisões, bem como também revela a clareza lógica de equipe. É a base para a negociação e venda da idéia do projeto, portanto é indesejável que um projeto de elevada qualidade intrínseca seja prejudicado por uma proposta malfeita.

### **Custos Envolvidos em Projetos**

Para tornar exequível o desenvolvimento da equação que possibilite a estimativa do custo de um projeto de automação com Interbus, partiu-se da necessidade de identificar os custos de maior representatividade em orçamentos de projetos similares.

Por meio de entrevistas com quatro empresas de engenharia de porte médio, consolidadas e com experiência em grandes projetos, cuja divulgação dos nomes não foi autorizada pelas mesmas, identificou-se com pequenas divergências o número de fases nas quais um projeto de automação pode ser dividido e, dentro dessas, quais seriam os grupos que as compunham, bem como os recursos alocados.

Após a compilação desses dados, foi elaborada a Tabela intitulada Rateio Médio de Custo em Projetos de Automação, que foi enviada a cada uma das empresas entrevistadas para sua validação e para que também fossem atribuídos os percentuais relativos aos custos de cada uma das fases dos projetos. A Tabela 4 traz a distribuição média dos resultados da pesquisa com os valores relativos às respectivas fases do projeto. Esses dados nortearão a pesquisa das variáveis e os valores necessários para a composição da equação pretendida.

TABELA 4 – RATEIO MÉDIO DE CUSTO EM PROJETOS DE AUTOMAÇÃO.

FASE	ÍTEM	RECURSO	Média do Projeto	
1 - Projeto	1.1 - Mão-de-obra	Gerente	30%	
		Projetista		
		Desenhista		
		Programador		
2 - Execução	2.1 - Mão-de-obra	Gerente	12% (PROJETO)	20% (FASE2)
		Projetista		
		Desenhista		
		Programador		
		Eletricista		
		Ajudante		
	2.2 - Material Eletro-eletrônico		48% (PROJETO)	80% (FASE 2)
	2.2.1 - Painel Principal	Painel		
		Hardware		
		Acionamentos		
		Cabos		
		Acessórios		
	2.2.2 - Painel Intermediário (Caixas de Passagem)	Painel		
		Caixa		
		Hardware		
		Acionamentos		
		Cabos		
Acessórios				
Sensores				
2.2.3 - Interligação entre Painéis e Campo				
2.2.3.1 - Infra-estrutura civil/mecânica	Alvenaria			
	Leito			
	Eletrocalha			
	Eletroduto			
	Caixa de passagem			
	2.2.3.2. - Potência	Cabos de potência		
2.2.3.3 - Sinal	Cabos especiais			
3 - Start up	3.1 - Mão-de-obra	Gerente	10%	
		Engenheiro		
		Técnico		
		Programador		
		Eletricista		
		Ajudante		

Após verificar a existência de dois vetores na formação do custo: valor de mão-de-obra e materiais, torna-se oportuna a observação de que, embora na fase de execução exista uma significativa diferença entre os percentuais médios de custos de mão-de-obra (48%) e de materiais (12%), que mal interpretados podem induzir à errônea conclusão de que a busca por opções de materiais mais acessíveis representa a solução para a redução de custo efetivo de um

projeto, uma análise mais detalhada esclarece que os custos ao longo do mesmo, tanto de materiais como de mão-de-obra, acabam equilibrando-se.

Portanto, a primeira observação sugere que embora não se deva negligenciar as verificações das fases, é muito importante a visão macro, capaz de entender as implicações de pequenas alterações pontuais no todo do projeto, pois eventualmente a aquisição de materiais mais simples e, conseqüentemente, de menor valor pode implicar aumento direto de mão-de-obra, custo este que, mesmo aparecendo em momentos distintos, ao final do projeto deverá ser totalizado.

### **Mão-de-Obra**

Verificou-se por intermédio da pesquisa que as empresas, na elaboração do orçamento, aferem o tempo de execução dos serviços solicitados baseadas apenas em seu conhecimento empírico e o contingenciamento acaba variando de acordo com a percepção de sua situação mediante os concorrentes. Nesse ponto, embora Maximiano (1997) defina a incerteza como uma das características de um projeto, comprova-se que, mesmo para atividades simples, esse grau que representa riscos reais para a empresa, em certos casos, acaba sendo negligenciado. Em alguns casos, a falta de foco possibilita que as circunstâncias determinem os segmentos de atuação da empresa, acabando por expor a mesma a cenários extremamente adversos. Constata-se então a necessidade de um método que possibilite a elaboração do orçamento de maneira segura.

Moraes (2001) adverte sobre essa dificuldade afirmando que em engenharia de *software* a diminuição dos riscos na estimativa do esforço de desenvolvimento e do seu prazo foi objeto de importantes estudos empíricos, que procuram estabelecer:

- Medidas da complexidade e da dificuldade dos objetivos do *software* e dos níveis da qualidade.



- Relação entre essas medidas, os esforços (homem–mês) e os prazos (meses), com base no histórico de contatos anteriores.

Métricas de *software* são uma variedade de medidas e de relações empíricas entre esforço (homem–hora) e tempo para conclusão (meses), todas destinadas a orientar estimativas de produtividade e qualidade.

As métricas usuais são classificadas em:

- Técnicas (complexidade, modularidade e flexibilidade);
- Qualidade (adequação aos requisitos);
- Produtividade (consumo de recursos).

E orientadas por:

- Tamanho (número de linhas de códigos e páginas de documentação);
- Função (número de entradas, saídas, consultas e arquivos);
- Entrosamento pessoal (facilidade de diálogo e uso).

Durante a pesquisa, detectou-se grande dificuldade na identificação de métricas explícitas ou mesmo implícitas, adotadas pelas empresas de engenharia, podendo isso ser averiguado pela constatação de diferentes valores de hora/venda do mesmo profissional em diferentes situações. A justificativa para esse comportamento é de que o profissional desenvolvendo um projeto apresenta uma seqüência lógica e evolutiva de seu trabalho, ao passo que para alterar qualquer outro programa, sendo este ou não de sua autoria, implicará a análise de todo o programa, para somente aí realizar a edição do mesmo, que poderá ser de muitas ou poucas linhas, daí o valor ser mais alto em detrimento a realizar um projeto completo.

Métricas mais apuradas como FPA (*Function Point Analysis*) ou Análise do Ponto de Função, cuja origem remonta ao final da década de 1970 devido à solicitação do grupo de usuários da IBM, hoje começam a ter grande aderência

no Brasil. O FPA possui como principais características a independência de tecnologia e a avaliação pelo usuário final que a compreende, além de poder ser utilizada para estimativas.

Contudo, esse tipo de métrica possui boa aderência em *software-houses*, devido a características desse segmento, como sua origem em ambientes controlados e com nivelamento técnico entre os concorrentes, que invariavelmente apresentam poucas diferenças entre si, o que acaba obrigando-os a buscar o diferencial competitivo na gestão eficiente de seus recursos e de como negociá-los com o mercado.

Por intermédio dos entrevistados, obteve-se a Tabela 5, que traz valores médios de mão-de-obra. Todavia, observa-se que os mesmos podem variar de acordo com o projeto, margens de negociação ou mesmo dificuldades vigentes, sempre calcados na percepção do responsável pelo orçamento.

*TABELA 5 – RATEIO DE CUSTO EM PROJETOS DE AUTOMAÇÃO.*

<b>Recurso</b>	<b>Valor de mão-de-obra R\$ (Média)</b>
Gerente	20,00
Projetista	17,00
Desenhista	15,00
Programador	15,00
Supervisor	X
Técnico	17,00
Eletricista	14,50
Ajudante	10,50

Como o objetivo deste trabalho é minimizar o efeito subjetivo durante a análise, busca-se a quantificação do trabalho de forma técnica, pelo uso de variáveis que possam ser identificadas de maneira rápida e simples, sem a necessidade de um especialista.

Uma das primeiras questões consiste no estabelecimento de preços médios de mão-de-obra para a execução dos seguintes serviços:

- Confeccção de infra-estrutura para cabos em alvenaria (R\$/m).
- Confeccção de infra-estrutura em leito para cabos (R\$/m).
- Confeccção de infra-estrutura em eletrocalhas para cabos (R\$/m).
- Confeccção de infra-estrutura em tubulação rígida para cabos (R\$/m).
- Valor para lançamento e conexão de cabos tanto no campo como no painel (R\$/m).
- Valor de mão-de-obra para programação.

Por meio das entrevistas, constatou-se que esses valores alteravam de acordo com a percepção do tipo de serviço e as condições ambientais. Mediante essa dificuldade, elaborou-se uma pesquisa, na forma de uma planilha que contemplasse essas complicações. A mesma foi passada às empresas entrevistadas, solicitando-se os valores de mão-de-obra ou um orçamento que atendesse às necessidades de distância, tipo de infra-estrutura e dificuldades ambientais. Com a média dos valores obtidos com o retorno dos orçamentos, formou-se a Tabela 6.

Considerando-se o interesse deste trabalho em obter valores de mão-de-obra para a fase de execução, que é responsável por 12% do valor total do projeto, os dados do Tabela 6 foram compilados, buscando a obtenção de um valor relativo ao número de pontos de conexão e metros de infra-estrutura confeccionados, além da determinação de um fator que chamaremos de fator

ambiente, que expõe o grau de dificuldade da instalação. Esses dados são apresentados nas Tabelas 7 e 8, respectivamente.

*TABELA 6 – PESQUISA DE VALOR DE MÃO-DE-OBRA PARA CONSTRUÇÃO DE INFRA-ESTRUTURA CONSIDERANDO DISTÂNCIA, TIPO E AMBIENTE.*

Distância (metros)	Tipo de Infra-estrutura				Ambiente
	Alvenaria (1)	Leito (2)	Eletrocalha (3)	Eletroduto (4)	
10	R\$ 550,00	R\$ 200,00	R\$ 200,00	R\$ 100,00	< 3m altura sem obstáculo
10	R\$ 750,00	R\$ 400,00	R\$ 400,00	R\$ 200,00	< 3m altura com obstáculo
10	X	R\$ 400,00	R\$ 400,00	R\$ 200,00	> 3m altura sem obstáculo
10	X	R\$ 800,00	R\$ 800,00	R\$ 400,00	> 3m altura com obstáculo
50	R\$ 2.200,00	R\$ 800,00	R\$ 800,00	R\$ 400,00	< 3m altura sem obstáculo
50	R\$ 3.000,00	R\$ 1.600,00	R\$ 1.600,00	R\$ 800,00	< 3m altura com obstáculo
50	X	R\$ 1.600,00	R\$ 1.600,00	R\$ 800,00	> 3m altura sem obstáculo
50	X	R\$ 3.200,00	R\$ 3.200,00	R\$ 1.600,00	> 3m altura com obstáculo
100	R\$ 4.400,00	R\$ 1.600,00	R\$ 1.600,00	R\$ 800,00	< 3m altura sem obstáculo
100	R\$ 6.000,00	R\$ 3.200,00	R\$ 3.200,00	R\$ 1.600,00	< 3m altura com obstáculo
100	X	R\$ 3.200,00	R\$ 3.200,00	R\$ 1.600,00	> 3m altura sem obstáculo
100	X	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 3.200,00	> 3m altura com obstáculo
200	R\$ 8.800,00	R\$ 3.200,00	R\$ 3.200,00	R\$ 1.600,00	< 3m altura sem obstáculo
200	R\$ 12.000,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 3.200,00	< 3m altura com obstáculo
200	X	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 3.200,00	> 3m altura sem obstáculo
200	X	R\$ 12.800,00	R\$ 12.800,00	R\$ 6.400,00	> 3m altura com obstáculo

Para a elaboração dos orçamentos, solicitou-se que as empresas considerassem as estruturas com as seguintes características:

Alvenaria (1) – considerou-se uma vala com 50 cm de largura por 50 cm de profundidade, área total de 2.500 cm<sup>2</sup>.

Leito (2) – estrutura considerada tipo médio, próprio para instalações industriais com capacidade de alojamento de condutores médios e pesados, com altura de 75 mm, largura de 300 mm e comprimento de 3.000 mm, que necessita de suporte para sustentação a cada 2 m.

Eletrocalha (3) – estrutura considerada, foi tipo média perfurada com altura de 100 mm, largura 200 mm e comprimento de 3.000 mm, que necessita de suporte para sustentação a cada 1,5 m.

Eletroduto (4) – eletroduto de dimensões intermediárias de 1 ½” diâmetro, 3 m de comprimento, peso de 10,76 kg por peça e sistema de conexão rápido, tipo Daisa (sem rosca).

A justificativa do valor de mão-de-obra para montagem leito coincidir com o valor da montagem da eletrocalha relaciona-se a aspectos técnicos inerentes aos mesmos. Embora o leito seja mais pesado e de dimensões maiores em relação à eletrocalha, esta apresenta um número de parafusos maior e exige grande cuidado durante o seu manuseio, devido às laterais cortantes, o que aumenta a complexidade durante a montagem e, consecutivamente, o tempo de execução do trabalho.

**TABELA 7 – VALORES DE MÃO-DE-OBRA PARA ELABORAÇÃO DE INFRA-ESTRUTURA POR METRO.**

Tipo de Infra-estrutura ⇒ Distância ↓	Alvenaria	Leito para Cabos	Eletrocalha	Eletroduto
< 50 metros	R\$55,40/m	R\$20,00/m	R\$20,00/m	R\$10,00/m
> 50 metros	R\$44,00/m	R\$16,00/m	R\$16,00/m	R\$8,00/m

**TABELA 8 – VALORES DE FATOR AMBIENTE DE INFRA-ESTRUTURA – F1.**

Tipo de Infra-estrutura ⇒ Grau de Dificuldade ↓	Alvenaria	Leito para Cabos	Eletrocalha	Eletroduto
Baixo	1	1	1	1
Médio	1,364	2	2	2
Elevado	2,728	4	4	4

O Grau de Dificuldade pode ser determinado segundo o modelo a seguir.

Para a estrutura de alvenaria:

- Grau de Dificuldade Baixo – aplica-se quando a abertura das valas ocorrer em local livre de obstáculos, calçamento ou pavimentação.
- Grau de Dificuldade Médio – quando for necessária a utilização de rompedor, porém, em área de fácil acesso.
- Grau de Dificuldade Elevado – quando ocorrem situações iguais à anterior, porém, com acesso restrito ou sujeito a paralisações constantes devido a condições do ambiente (temperatura, água, gás, etc.)

Para demais estruturas, recomenda-se seguir o seguinte padrão:

- Grau de Dificuldade Baixo: indicado em instalações abaixo de 3 metros e em locais desimpedidos de obstáculos.
- Grau de Dificuldade Médio: quando a instalação ocorrer acima de 3 metros de altura, necessitando a montagem de andaimes ou em local com obstáculos, que impliquem a construção de desvios de percurso.
- Grau de Dificuldade Elevado: quando as duas situações citadas anteriormente ocorrerem de forma simultânea.

De acordo com o método adotado, tomou-se uma nova planilha para pesquisa, objetivando a determinação do custo praticado pelas empresas de engenharia para o lançamento e a conexão dos cabos, uma vez que percebeu-se que esse valor sofre influência direta do número de cabos, distância, tipo de cabo e do ambiente. Os valores coletados deverão preencher a Tabela 9, e as informações obtidas, após sua compilação, devem ser apresentadas nas Tabelas 10, 11 e 12.

*TABELA 9 – PESQUISA DE VALOR DE MÃO-DE-OBRA PARA LANÇAMENTO E CONEXÃO DE CABOS CONSIDERANDO TIPO, NÚMERO DE CABOS, DISTÂNCIA E AMBIENTE.*

Tipo de Cabo	Distância (metros)	Número de Cabos								Ambiente
		10	50	100	200	500	1000	2000	4000	
a	10	170,00	680,00	1.360,00	2.720,00	6.800,00	13.600,00	27.200,00	54.400,00	< 3m sem obstáculo
b	10	260,00	1.040,00	2.080,00	4.160,00	10.400,00	20.800,00	41.600,00	83.200,00	
c	10	310,00	1.240,00	2.480,00	4.960,00	12.400,00	24.800,00	49.600,00	99.200,00	
d	10	650,00	2.600,00	5.200,00	10.400,00	26.000,00	52.000,00	104.000,00	208.000,00	
a	10	350,00	1.400,00	2.800,00	5.600,00	14.000,00	28.000,00	56.000,00	112.000,00	> 3m sem obstáculo
b	10	536,00	2.144,00	4.288,00	8.576,00	21.440,00	42.880,00	85.760,00	171.520,00	
c	10	650,00	2.600,00	5.200,00	10.400,00	26.000,00	52.000,00	104.000,00	208.000,00	
d	10	1.350,00	5.400,00	10.800,00	21.600,00	54.000,00	108.000,00	216.000,00	432.000,00	
a	50	330,00	1.320,00	2.640,00	5.280,00	13.200,00	26.400,00	52.800,00	105.600,00	< 3m sem obstáculo
b	50	480,00	1.920,00	3.840,00	7.680,00	19.200,00	38.400,00	76.800,00	153.600,00	
c	50	530,00	2.120,00	4.240,00	8.480,00	21.200,00	42.400,00	84.800,00	169.600,00	
d	50	750,00	3.000,00	6.000,00	12.000,00	30.000,00	60.000,00	120.000,00	240.000,00	
a	50	680,00	2.720,00	5.440,00	10.880,00	27.200,00	54.400,00	108.800,00	217.600,00	> 3m sem obstáculo
b	50	990,00	3.960,00	7.920,00	15.840,00	39.600,00	79.200,00	158.400,00	316.800,00	
c	50	1.100,00	4.400,00	8.800,00	17.600,00	44.000,00	88.000,00	176.000,00	352.000,00	
d	50	1.550,00	6.200,00	12.400,00	24.800,00	62.000,00	124.000,00	248.000,00	496.000,00	
	<b>Bitola dos Cabos</b>									
a	1 mm <sup>2</sup> a 10 mm <sup>2</sup>									
b	16mm <sup>2</sup> a 50mm <sup>2</sup>									
c	70mm <sup>2</sup> a 95mm <sup>2</sup>									
d	Acima a 120mm <sup>2</sup>									

**TABELA 10 – VALORES DE MÃO-DE-OBRA PARA LANÇAMENTO E CONEXÃO DE CABOS  
CONSIDERANDO-SE QUANTIDADE DE CABOS.**

<b>Grupo de Cabos ⇒ Número de Cabos ↓</b>	<b>A 1,0 a 10mm<sup>2</sup></b>	<b>B 16 a 50mm<sup>2</sup></b>	<b>C 70 a 95mm<sup>2</sup></b>	<b>D &gt; 120mm<sup>2</sup></b>
< 50	R\$17,00/cabo	R\$26,00/cabo	R\$31,00/cabo	R\$65,00/cabo
> 50	R\$13,60/cabo	R\$20,80/cabo	R\$24,80/cabo	R\$52,00/cabo

**TABELA 11 – VALORES DE FATOR AMBIENTE DE LANÇAMENTO E CONEXÃO DE CABOS  
– F2.**

<b>Grau de Dificuldade</b>	<b>F2</b>
<b>Baixo</b>	1
<b>Elevado</b>	2,0769

Considera-se elevado o grau de dificuldade para essa atividade quando os profissionais devem trabalhar em alturas superiores a 3 metros, utilizando equipamentos de segurança que os prendam à estrutura. Esse equipamento de vital importância acarreta demora no deslocamento dos profissionais sobre a estrutura e ocasiona o aumento do tempo de execução do serviço.

**TABELA 12 – FATOR CORRESPONDENTE À DISTÂNCIA DOS CABOS A SEREM  
LANÇADOS E CONECTADOS – F3.**

<b>Distância em Metros</b>	<b>F3</b>
$1 < d \leq 10$	1
$10 < d \leq 50$	1,94



Quanto ao valor da mão-de-obra para programação, embora a pesquisa tenha detectado valores próximos entre as empresas, verificou-se que já consiste em uma prática de algumas empresas a adoção de um valor por ponto, independente do tipo deste, seja digital ou analógico. Isso acaba confirmando a expectativa deste trabalho em estabelecer uma relação entre variáveis mensuráveis, como nesse caso o número de pontos e o valor estimado da obra.

Porém, esse valor refere-se somente ao valor de programação e este trabalho busca tornar possível a estimativa do valor global do projeto, com razoável abrangência. Fica, no entanto, o registro dessa prática

*TABELA 13 – VALORES DE MÃO-DE-OBRA PARA PROGRAMAÇÃO EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE PONTOS.*

Número de Pontos	Valor por Ponto
≤ 200	R\$50,00
> 200	R\$40,00

### **Materiais**

Por meio da análise detalhada de projetos de automação e dos materiais envolvidos em cada uma das fases, bem como o peso de seu custo no valor global do projeto, foi possível agrupá-los nas seguintes classes:

- Painel
- Hardware
- Acionamentos
- Sensores e Atuadores
- Acessórios

- Cabos
- Infra-estrutura Civil e Mecânica

Buscou-se determinar valores relacionados ao número e tipo do ponto. Daí a pesquisa do valor médio de equipamentos utilizados em aplicações com tecnologia Interbus, que possibilitaram a criação de duas Tabelas, a Tabela 14, que contém valores relacionados aos controladores, que consistem em elementos comuns a qualquer tipo de aplicação, e a Tabela 15, com as opções dos módulos capazes de atender aos diversos tipos de configurações.

*TABELA 14 – CUSTO DE HARDWARE.*

<b>Recurso</b>	<b>Código</b>	<b>Função</b>	<b>Valor sem IPI</b>
ILC200	2729800	Controlador Lógico Programável	R\$5.876,85
BK	2861580	Módulo de Alimentação e Controle Remoto	R\$1.447,29
SEG	2861373	Módulo de Separação de Pontencial	R\$170,04
RBT	2727941	Módulo Derivador da Rede Interbus	R\$747,73
CABO IBS	2806286	Cabo Interbus	R\$13,45

TABELA 15 – CUSTO DE I/Os.

Tipo do Sinal ⇒ Número de Pontos ↓	Código	R\$/Ponto	Código	R\$/Ponto	Código	R\$/Ponto	Código	R\$/Ponto
	Entrada Digital		Saída Digital		Entrada Analógica		Saída Analógica	
	Preço Módulo R\$		Preço Módulo R\$		Preço Módulo R\$		Preço Módulo	
1							2861315	
							R\$1.138,30	R\$1.138,30
2	2861221		2861470		2861302			
	207,91	103,95	291,42	145,71	1.523,72	761,86		
4	2861234		2861276					
	338,32	84,58	462,62	115,65				
8	2861247		2861289		2861412			
	670,43	83,80	884,07	110,51	3.618,62	452,33		
16	2861250		2861292					
	1.123,93	70,24	1.392,82	87,05				
R\$/Médio		85,64		114,73		607,09		1.138,30

Devido à não linearidade dos valores, a determinação de custo por pontos torna-se extremamente imprecisa, acusando variações que podem chegar a 17% no preço dos módulos de entradas digitais e até 25% nos módulos de entradas analógicas. Somam-se a essa dificuldade a variação de preços no mercado da ordem de até 30% e o elevado número de opções de tecnologias e fornecedores, o que acaba tornando impraticável a idéia inicial, que consistia na determinação de um valor, para compor a equação proposta neste trabalho.

Por esse motivo adotou-se o método de aproximação em função do valor total do projeto. Considerando-se que o valor do material corresponde a 48% do valor do projeto e a 80% do valor relacionado à fase da execução, pode-se

trabalhar com a projeção do valor de material e, conseqüentemente, valores totais do projeto a partir da estimativa dos valores de mão-de-obra.

Essa estimativa, embora possa vir a apresentar um grau de incerteza, deverá ser depurada ao longo do tempo e consiste na melhor opção encontrada, pois considerar absolutamente todas as opções de configurações acabaria por inviabilizar este trabalho.

## EQUAÇÃO

A equação desenvolvida neste trabalho será apresentada a seguir. No entanto, torna-se importante comentar as variáveis envolvidas na mesma. Para facilitar sua compreensão, recomenda-se uma rápida consulta à Figura 10.

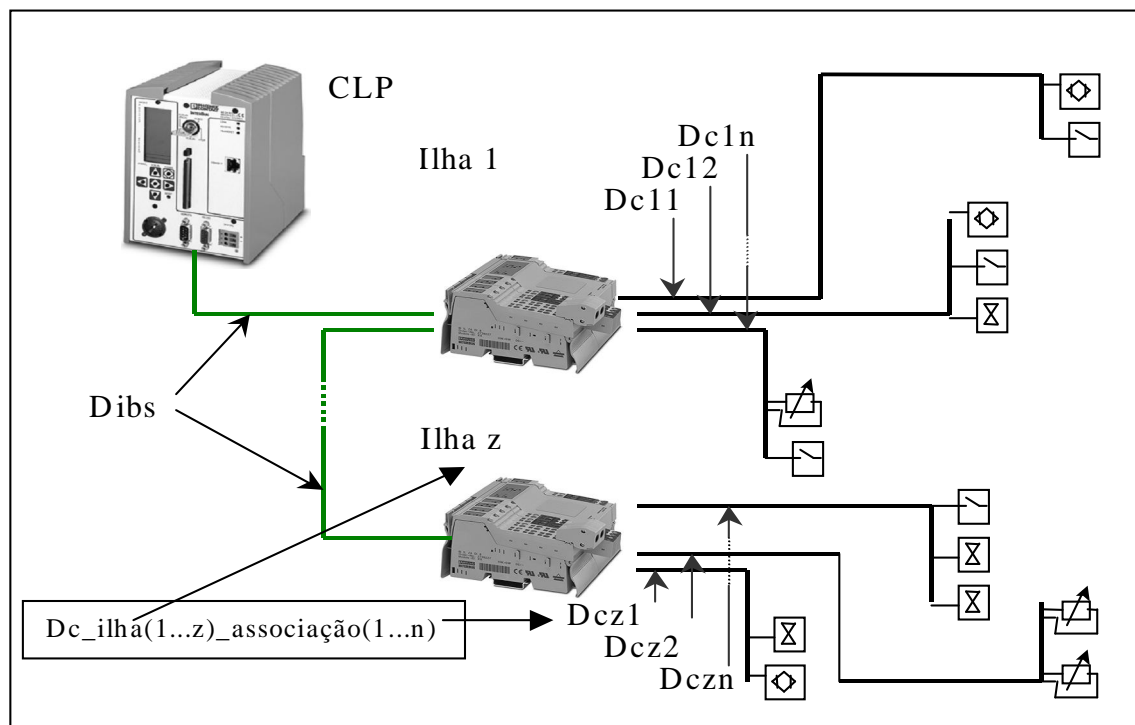


FIGURA 10 – ESTRUTURA PARA A APLICAÇÃO DA FÓRMULA.

A Figura 10 representa a distribuição dos sensores e atuadores que pertencem à mesma ilha e estejam fisicamente próximos em subgrupos. Essa otimização

de leiaute permite a utilização da mesma infra-estrutura para acondicionamento dos cabos de interligação entre o campo e o controle.

A distância desses grupos é identificada pela sigla Dc<sub>x</sub>, onde x indica o número da ilha na rede e n o número desse subgrupo na ilha correspondente.

Dibs refere-se à somatória do cabo de Interbus, utilizado na interligação entre o CLP e as ilhas de 1 a n.

NP: número total de pontos (digitais e analógicos).

Dibs: distância em metros do controlador à primeira ilha e entre ilhas subsequentes, que corresponde ao trecho de cabo Interbus.

Dc\_ilha\_associação: distância em metros entre os elementos de campo próximos fisicamente que formam a chamada associação que poderá variar de 1 a n e que pertençam à mesma ilha cuja identificação poderá variar de 1 a z. Dessa forma, Dc35 significa a distância em metros entre os elementos de campo que formam a quinta associação e que pertençam à terceira ilha.

Vprog : R\$/ponto para programação, conforme Tabela 13.

Vinfra\_ibs: R\$/m de mão-de-obra para confecção de tubulação para cabo Interbus, conforme Tabela 7.

Vcabo\_ibs: R\$/m de mão-de-obra para lançamento e conexão de cabos Interbus, conforme Tabela 10 (Grupo A / < 50).

Vinfra\_campo: R\$/m de mão-de-obra para infra-estrutura de campo do grupo, conforme Tabela 7.

Vcabo\_campo: R\$/m de mão-de-obra para lançamento e conexão de cabos, conforme Tabela 10 (Grupo A).

F1: fator ambiente, conforme Tabela 8.

F2: fator ambiente, conforme Tabela 11.

F3: fator distância, conforme Tabela 13.

A representação matemática das variáveis acima detalhadas forma a equação proposta neste trabalho, que pode ser apresentada da forma como segue, para a obtenção de VT, que consiste no valor total de mão-de-obra para projeto :

$$NP \times V_{prog} + D_{ibs} \times [ V_{infra\_ibs} \times F1 + V_{cabo\_ibs} \times F2] +$$

$$\sum_{z=1}^n \{ \sum_{ilha=1}^n \{ \sum_{associação=1}^n [ D_{c\_ilha\_associação} \times (V_{infra\_campo} \times F1 + V_{cabo\_campo} \times$$

$$F2 \times F3) ] \} \} = VT$$

No entanto, para simplificar a compreensão desta equação, pode calcular VT, por meio das parcelas V1, V2 e V3, que são detalhadas a seguir:

$$NP \times V_{prog} = V1$$

Onde V1, representa o valor estimado para a programação.

$$D_{ibs} \times [ V_{infra\_ibs} \times F1 + V_{cabo\_ibs} \times F2] = V2$$

V2, apresenta o valor estimado para lançamento do cabos de Interbus e preparação de infra estrutura para o mesmo.

$$\sum_{z=1}^n \{ \sum_{ilha=1}^n \{ \sum_{associação=1}^n [ D_{c\_ilha\_associação} \times (V_{infra\_campo} \times F1 + V_{cabo\_campo} \times$$

$$F2 \times F3) ] \} \} = V3$$

V3, traz o valor para lançamento e conexão dos cabos de Campo, que interligam as chamadas ilhas aos sensores e atuadores.

Sendo que o valor Total mão-de-obra para projeto e execução, obtido por meio da soma de V1, V2 e V3.

$$VT = V1 + V2 + V3$$

## **5. ESTUDO DE CASO**

### **5.1. SISTEMA PROPOSTO**

Projeto de Preparação de Esmalte utilizado na pintura de vasos sanitários e lavatórios na empresa, cujo nome não foi autorizada a divulgação.

A solicitação do cliente busca reduzir a mão-de-obra e assegurar a qualidade no processo, eliminando falhas decorrentes da intervenção humana.

O processo consiste na mistura e no agito de produtos químicos obedecendo a receitas previamente estabelecidas, que contêm a dosagem dos componentes e tempos relacionados ao processo, que buscam assegurar a manutenção do padrão das 5 cores básicas.

Devido à grande quantidade de equipamentos, os mesmos foram agrupados em painéis relacionados a cada etapa do processo, que são: Mistura, Diluição da Matéria-Prima, Fabricação da Base , Mistura com o Corante e Transporte para tanque de trabalho, responsável por enviar produtos para as linhas e suas cabines de pintura.

O projeto é constituído de 36 tanques de mistura, 3 moinhos, aproximadamente 100 válvulas solenóides e uma potência instalada de 600 KW entre motores e equipamentos distribuídos em 9 painéis elétricos, sendo que 6 deles deverão apresentar controle e a distribuição sugerida pelos usuários de acordo com desenho Anexo A.

### **5.2. ORÇAMENTO DO PROJETO ATRAVÉS DA EQUAÇÃO PROPOSTA**

Cruzando as informações sobre o processo, verificadas junto à empresa responsável pelo projeto, com a Tabela 16, constata-se que o sistema produtivo em questão classifica-se de acordo com Meredith & Shafer (2002) em

Flow Shop e portanto a rede digital sugerida para a automação, segundo Rocha (1998), consiste em uma das opções do grupo Device Bus ou Data Bus (com restrições). Assim sendo, a rede Interbus tem seu uso recomendado.

*TABELA 16 – SELEÇÃO DE REDE DE ACORDO COM O TIPO DE PRODUÇÃO.*

Produção : Meredith & Shafer (2002)				Redes :Rocha (1998)
Mão-de-Obra	Volume	Variedade	Tipo de Produção	Tipo de Rede Indicado
Intensa	Baixo	Alta	Produção por Projeto ⇔	Databus
+	Médio	Alta	Produção Celular ⇔	Sensor Bus
Média	Alto	Alta	Job Shop ⇔	Device Bus
-	Alto	Pequena	Flow Shop ⇔	Device Bus / Data Bus (com restrições)
Baixa	Alto	Muito Pequena	Processo Contínuo ⇔	Field Bus / Device Bus (com restrições)

*FONTE: ADAPTADO DE MEREDITH (2002) E ROCHA(1998).*

Durante a fase que Maximiano (1997) intitula de estruturação, torna-se necessária a pesquisa de campo, cujo propósito é ganhar compreensão completa do processo de fabricação do cliente, sobretudo quando o nível de automação está sendo melhorado substancialmente.

De acordo com informações obtidas junto aos desenvolvedores desse projeto, foi possível estimar os dispositivos a serem instalados, bem como as distâncias entre os mesmos e suas respectivas ilhas, que são apresentadas na Tabela 17.

Para facilitar a compreensão da marcha de cálculo a ser desenvolvida, será realizado com grande riqueza de detalhes o cálculo pertinente à Ilha 1 e suas respectivas associações, utilizando a equação desenvolvida neste trabalho.

A Tabela 17 contém os dados necessários à identificação dos elementos que compõem a chamada Ilha 1, bem como suas respectivas características, que permitirão definir tipo e comprimento do cabo a ser utilizado, tipo de infraestrutura e dimensões da mesma.



TABELA 17 – LEVANTAMENTO DE CAMPO RELATIVO À ILHA 1.

Ilha 1 - Tanque de Base (Controlador) Distância lbs = 0							
No. da associação	Aplicação	Origem	Destino	Tipo do Cabo	Comprimento (m)	Tipo de infra-estrutura	Comprimento (m)
1	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Base	TB1	2x18AWG + Sh.	31	eletroduto 1/2"	3
2	Motor 2 CV	QF-Tq. Base	TB1	4x2,5mm2	28	eletroduto 1"	2
3	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Base	TB2	2x18AWG + Sh.	35,2	eletroduto 1/2"	3
4	Motor 2 CV	QF-Tq. Base	TB2	4x2,5mm2	32,5	eletroduto 1"	2
5	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Base	TB3	2x18AWG + Sh.	33,5	eletroduto 1/2"	3
6	Motor 2 CV	QF-Tq. Base	TB3	4x2,5mm2	30,5	eletroduto 1"	2
7	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Base	TB4	2x18AWG + Sh.	37,7	eletroduto 1/2"	3
8	Motor 2 CV	QF-Tq. Base	TB4	4x2,5mm2	35	eletroduto 1"	2
9	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Base	TB5	2x18AWG + Sh.	36	eletroduto 1/2"	3
10	Motor 2 CV	QF-Tq. Base	TB5	4x2,5mm2	32,5	eletroduto 1"	2
11	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Base	TB6	2x18AWG + Sh.	40,2	eletroduto 1/2"	3
12	Motor 2 CV	QF-Tq. Base	TB6	4x2,5mm2	37,5	eletroduto 1"	2
13	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Base	TB7	2x18AWG + Sh.	38,5	eletroduto 1/2"	3
14	Motor 2 CV	QF-Tq. Base	TB7	4x2,5mm2	35	eletroduto 1"	2
15	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Base	TB8	2x18AWG + Sh.	42,7	eletroduto 1/2"	3
16	Motor 2 CV	QF-Tq. Base	TB8	4x2,5mm2	40	eletroduto 1"	2
17	P.Pneum. 2	QF-Tq. Base	P.Pneum. 2	12x1,5mm2 (x2)	15	eletroduto 1"	3
18	P.Pneum. 3	QF-Tq. Base	P.Pneum. 3	12x1,5mm2	15	eletroduto 1"	3
19	Interlig. 400X100	QF-Tq. Base	Sala Tq-Base			Eletroc. 400x100	28
20	Interlig.1 -100X100	Eletroc. 400x100	TB7			Eletroc. 100x100	13
21	Interlig.2 -100X100	Eletroc. 400x100	TB8			Eletroc. 100x100	13

A partir dos dados da Tabela 17, foi possível extrair informações que atendam às variáveis que formam a equação:

NP – número total de pontos (digitais e analógicos). Considerando-se que NP consiste na somatória do número de pontos de todas as ilhas que formam o sistema, torna-se importante adotar uma nomenclatura para medições parciais. Assim sendo, convencionou-se NP<sub>x</sub>, onde a variável x corresponde ao número da ilha referenciado; portanto, neste caso, NP<sub>1</sub> é igual a 52, sendo 8 entradas analógicas e 44 saídas digitais.

Dibs – nesse caso, como o controlador encontra-se no mesmo painel onde estão os módulos de entradas e saídas, a distância a ser considerada é 5m.

Dc\_ilha\_associação – corresponde à distância em metros entre os elementos que possuem mesma origem e destino. Nesse caso, os elementos que pertenciam a mesma associação não podem trafegar no mesmo meio, devido a problemas de interferência eletromagnética. Dessa forma, obteve-se 21 “associações”.

Vprog – R\$/ponto para programação, conforme Tabela 13.

Vinfra\_ibs – R\$/m de mão-de-obra para construção de infra-estrutura de tubulação para cabo Interbus, conforme Tabela 7.

Vcabo\_ibs – R\$/m de mão-de-obra para lançamento e conexão de cabos Interbus, conforme Tabela 10 (Grupo A / < 50).

Vinfra\_campo – R\$/m de mão-de-obra para construção de infra-estrutura de campo para o grupo, conforme Tabela 7.

Vcabo\_campo – R\$/m de mão-de-obra para lançamento e conexão de cabos, conforme Tabela 10 (Grupo A).

F1 – Fator Ambiente, conforme Tabela 8, considerando-se o grau de dificuldade elevado.

F2 – Fator Ambiente, conforme Tabela 11, considerando-se grau de dificuldade elevado.

F3 – Fator Distância, de acordo com o Tabela 12, considerando-se que todos os cabos nessa ilha apresentam comprimento entre 10 e 50 m.

Esses dados tornaram a ser compilados e resultaram no Tabela 18, que resume os valores de mão-de-obra para lançamento e conexão dos cabos e também o valor de mão-de-obra para confecção da infra-estrutura, conforme segue:

TABELA 18 – EQUAÇÃO DESENVOLVIDA APLICADA À ILHA 1.

Ilha 1 - Tanque de Base / Distância lbs = 5m / Número de Pontos = 52											
No. da associação	Nome da associação	Comprimento do cabo (m)	Vcabo_campo / R\$ (Quadro 10)	F2 (Quadro 11)	F3 (Quadro 12)	Valor de mão-de-obra para lançamento/conexão de cabos	Comprimento infra-estrutura (m)	V_infra_campo / R\$ (Quadro 7)	F1 (Quadro 8)	Valor de mão-de-obra para infra-estrutura	
1	Dc_1_1	31	13,60	1	1,94	817,90	3	8,00	2	48,00	
2	Dc_1_2	28	13,60	1	1,94	738,75	2	8,00	2	32,00	
3	Dc_1_3	35,2	13,60	1	1,94	928,72	3	8,00	2	48,00	
4	Dc_1_4	32,5	13,60	1	1,94	857,48	2	8,00	2	32,00	
5	Dc_1_5	33,5	13,60	1	1,94	883,86	3	8,00	2	48,00	
6	Dc_1_6	30,5	13,60	1	1,94	804,71	2	8,00	2	32,00	
7	Dc_1_7	37,7	13,60	1	1,94	994,68	3	8,00	2	48,00	
8	Dc_1_8	35	13,60	1	1,94	923,44	2	8,00	2	32,00	
9	Dc_1_9	36	13,60	1	1,94	949,82	3	8,00	2	48,00	
10	Dc_1_10	32,5	13,60	1	1,94	857,48	2	8,00	2	32,00	
11	Dc_1_11	40,2	13,60	1	1,94	1.060,64	3	8,00	2	48,00	
12	Dc_1_12	37,5	13,60	1	1,94	989,40	2	8,00	2	32,00	
13	Dc_1_13	38,5	13,60	1	1,94	1.015,78	3	8,00	2	48,00	
14	Dc_1_14	35	13,60	1	1,94	923,44	2	8,00	2	32,00	
15	Dc_1_15	42,7	13,60	1	1,94	1.126,60	3	8,00	2	48,00	
16	Dc_1_16	40	13,60	1	1,94	1.055,36	2	8,00	2	32,00	
17	Dc_1_17	15	13,60	1	1,94	395,76	3	8,00	2	48,00	
18	Dc_1_18	15	13,60	1	1,94	395,76	3	8,00	2	48,00	
19	Interlig. 400X100							28	16,00	2	896,00
20	Interlig.1 -100X100							13	16,00	2	416,00
21	Interlig.2 -100X100							13	16,00	2	416,00
<b>TOTAL</b>						<b>15.719,59</b>				<b>2.464,00</b>	

Esses valores serão reapresentados ao final do trabalho para a totalização das ilhas que compõem o sistema.

Será realizada a seguir a apresentação dos dados do levantamento de campo relativo às demais ilhas, que formarão as Tabelas 19, 20, 21, 22 e 23, relacionadas às Ilhas 2, 3, 4, 5 e 6.

TABELA 19 – LEVANTAMENTO DE CAMPO RELATIVO À ILHA 2.

Ilha 2 - Mistura / Distância Ibs = 25m							
No. da associação	Aplicação	Origem	Destino	Tipo do Cabo	Comprimento (m)	Tipo de infra-estrutura	Comprimento (m)
1	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Mistura	TM1	2x18AWG + Sh.	23,5	eletroduto 1/2"	8,5
2	Motor50 CV	QF-Tq. Mistura	TM1	4x35mm2	21	eletroduto 2"	6
3	Botoeira	QF-Tq. Mistura	TM1	6x1,5 mm2	21	eletroduto 1"	6
4	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Mistura	TM2	2x18AWG + Sh.	23,5	eletroduto 1/2"	8,5
5	Motor50 CV	QF-Tq. Mistura	TM2	4x35mm2	21	eletroduto 2"	6
6	Botoeira	QF-Tq. Mistura	TM2	6x1,5 mm2	21	eletroduto 1"	6
7	Sensor Vazão	QF-Tq. Mistura	TM2	3x0,75mm + Sh.	23,5	eletroduto 1/2"	8,5
8	P.Pneum. 1	QF-Tq. Mistura	P.Pneum. 1	12x1,5 mm2 (x2)	8	eletroduto 1"	3
9	Interligação	QF-Tanque Base	Sala Tq-Mistura			Eletroc. 400x100	21

TABELA 20 – LEVANTAMENTO DE CAMPO RELATIVO À ILHA 3.

Ilha 3 - Moinho 1/2 / Distância Ibs = 15m							
No. da associação	Aplicação	Origem	Destino	Tipo do Cabo	Comprimento (m)	Tipo de infra-estrutura	Comprimento (m)
1	Botoeira	QF-Moinho 1/2	Moinho1	2x1,5mm2	12,5	eletroduto 3/4"	8,5
2	Solenóide	QF-Moinho 1/2	Moinho1	2x1,5mm2	12,5	eletroduto 3/4"	8,5
3	Motor50 CV	QF-Moinho 1/2	Moinho1	4x35mm2	11,5	eletroduto 2"	7,5
4	Botoeira	QF-Moinho 1/2	Moinho2	2x1,5mm2	12,5	eletroduto 3/4"	8,5
5	Solenóide	QF-Moinho 1/2	Moinho2	2x1,5mm2	12,5	eletroduto 3/4"	8,5
6	Motor50 CV	QF-Moinho 1/2	Moinho2	4x35mm2	11,5	eletroduto 2"	7,5
7	Interligação	QF-Moinho 1/2	Sala Moinho			Eletroc. 400x100	31

TABELA 21 – LEVANTAMENTO DE CAMPO RELATIVO À ILHA 4.

Ilha 4 - Tanque de Retalho / Distância Ibs = 30m							
No. da associação	Aplicação	Origem	Destino	Tipo do Cabo	Comprimento (m)	Tipo de infra-estrutura	Comprimento (m)
1	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Retalho	TR1	2x18AWG + Sh.	18,5	eletroduto 1/2"	6
2	Motor / 7,5CV	QF-Tq. Retalho	TR1	4X4mm2	15,5	eletroduto 2"	3
3	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Retalho	TR2	2x18AWG + Sh.	16	eletroduto 1/2"	6
4	Motor / 7,5CV	QF-Tq. Retalho	TR2	4X4mm2	13	eletroduto 2"	3
5	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Retalho	TR3	2x18AWG + Sh.	20	eletroduto 1/2"	6
6	Motor / 7,5CV	QF-Tq. Retalho	TR3	4X4mm2	17	eletroduto 2"	3
7	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Retalho	TR4	2x18AWG + Sh.	18	eletroduto 1/2"	6
8	Motor / 7,5CV	QF-Tq. Retalho	TR4	4X4mm2	15	eletroduto 2"	3
9	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Retalho	TR5	2x18AWG + Sh.	25	eletroduto 1/2"	6
10	Motor / 7,5CV	QF-Tq. Retalho	TR5	4X4mm2	22	eletroduto 2"	3
11	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Retalho	TR6	2x18AWG + Sh.	23	eletroduto 1/2"	6
12	Motor / 7,5CV	QF-Tq. Retalho	TR6	4X4mm2	20	eletroduto 2"	3
13	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Retalho	TR7	2x18AWG + Sh.	24	eletroduto 1/2"	6
14	Motor / 7,5CV	QF-Tq. Retalho	TR7	4X4mm2	21	eletroduto 2"	3
15	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Retalho	TR8	2x18AWG + Sh.	21	eletroduto 1/2"	6
16	Motor / 7,5CV	QF-Tq. Retalho	TR8	4X4mm2	18	eletroduto 2"	3
17	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Retalho	TR9	2x18AWG + Sh.	22	eletroduto 1/2"	6
18	Motor / 7,5CV	QF-Tq. Retalho	TR9	4X4mm2	19	eletroduto 2"	3
19	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Retalho	TR10	2x18AWG + Sh.	19	eletroduto 1/2"	6
20	Motor / 7,5CV	QF-Tq. Retalho	TR10	4X4mm2	16	eletroduto 2"	3
21	P.Pneum. 6	QF-Tq. Retalho	P.Pneum. 6	12x1,5mm2 (x2)	20	eletroduto 1"	3
22	Interlig. 400X100	QF-Tq. Retalho	Sala Tq-Retalhos			Eletroc. 400x100	14
23	Interlig.1 -100X100	Eletroc. 400x100	TR5			Eletroc. 100x100	8
24	Interlig.2 -100X100	Eletroc. 400x100	TR6			Eletroc. 100x100	8

TABELA 22 – LEVANTAMENTO DE CAMPO RELATIVO À ILHA 5.

Ilha 5 - Tanque de Trabalho / Distância Ibs = 12m							
No. da associação	Aplicação	Origem	Destino	Tipo do Cabo	Comprimento (m)	Tipo de infra-estrutura	Comprimento (m)
1	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Trabalho	TT1	2x18AWG + Sh.	24	eletroduto 1/2"	3
2	Motor / 15CV	QF-Tq. Trabalho	TT1	4X10mm2	21	eletroduto 2"	2
3	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Trabalho	TT2	2x18AWG + Sh.	20	eletroduto 1/2"	3
4	Motor / 15CV	QF-Tq. Trabalho	TT2	4X10mm2	17	eletroduto 2"	2
5	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Trabalho	TT3	2x18AWG + Sh.	26,5	eletroduto 1/2"	3
6	Motor / 10CV	QF-Tq. Trabalho	TT3	4X6 mm2	23,5	eletroduto 1"	2
7	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Trabalho	TT4	2x18AWG + Sh.	22,5	eletroduto 1/2"	3
8	Motor / 10CV	QF-Tq. Trabalho	TT4	4X6 mm2	19,5	eletroduto 1"	2
9	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Trabalho	TT5	2x18AWG + Sh.	29	eletroduto 1/2"	3
10	Motor / 10CV	QF-Tq. Trabalho	TT5	4X6 mm2	26	eletroduto 1"	2
11	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Trabalho	TT6	2x18AWG + Sh.	25	eletroduto 1/2"	3
12	Motor / 10CV	QF-Tq. Trabalho	TT6	4X6 mm2	22	eletroduto 1"	2
13	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Trabalho	TT7	2x18AWG + Sh.	31,5	eletroduto 1/2"	3
14	Motor / 10CV	QF-Tq. Trabalho	TT7	4X6 mm2	28,5	eletroduto 1"	2
15	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Trabalho	TT8	2x18AWG + Sh.	27,5	eletroduto 1/2"	3
16	Motor / 10CV	QF-Tq. Trabalho	TT8	4X6 mm2	24,5	eletroduto 1"	2
17	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Trabalho	TT9	2x18AWG + Sh.	34	eletroduto 1/2"	3
18	Motor / 10CV	QF-Tq. Trabalho	TT9	4X6 mm2	31	eletroduto 1"	2
19	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Trabalho	TT10	2x18AWG + Sh.	30	eletroduto 1/2"	3
20	Motor / 10CV	QF-Tq. Trabalho	TT10	4X6mm2	27	eletroduto 1"	2
21	Motor / 3/4CV	QF-Tq. Trabalho	Peneira1	4x2,5mm2	24	eletroduto 3/4"	4,5
22	Motor / 3/4CV	QF-Tq. Trabalho	Peneira2	4x2,5mm2	20	eletroduto 3/4"	4,5
23	Motor / 1/2CV	QF-Tq. Trabalho	Peneira3	4x2,5mm2	34	eletroduto 3/4"	4,5
24	Motor / 1/2CV	QF-Tq. Trabalho	Peneira4	4x2,5mm2	30	eletroduto 3/4"	4,5
25	P.Pneum. 4	QF-Tq. Trabalho	P.Pneum. 4	12x1,5mm2	15	eletroduto 1"	3
26	P.Pneum. 5	QF-Tq. Trabalho	P.Pneum. 5	12x1,5mm2	10	eletroduto 1"	3
27	Interlig. 400X100	QF-Tq. Trabalho	Sala Tq-Trabalho			Eletroc. 400x100	7
28	Interlig.1 -100X100	Eletroc. 400x100	TT1			Eletroc. 100x100	13
29	Interlig.2 -100X100	Eletroc. 400x100	TT2			Eletroc. 100x100	13

TABELA 23 – LEVANTAMENTO DE CAMPO RELATIVO À ILHA 6.

Ilha 6 - Tanque de Esmalte / Distância lbs = 15m							
No. da associação	Aplicação	Origem	Destino	Tipo do Cabo	Comprimento (m)	Tipo de infra-estrutura	Comprimento (m)
1	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Esmalte	TE1	2x18AWG + Sh.		eletroduto 1/2"	3
2	Motor / 10CV	QF-Tq. Esmalte	TE1	4X6mm2		eletroduto 1"	2
3	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Esmalte	TE2	2x18AWG + Sh.		eletroduto 1/2"	3
4	Motor / 10CV	QF-Tq. Esmalte	TE2	4X6mm2		eletroduto 1"	2
5	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Esmalte	TE3	2x18AWG + Sh.		eletroduto 1/2"	3
6	Motor / 10CV	QF-Tq. Esmalte	TE3	4X6mm2		eletroduto 1"	2
7	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Esmalte	TE4	2x18AWG + Sh.		eletroduto 1/2"	3
8	Motor / 10CV	QF-Tq. Esmalte	TE4	4X6mm2		eletroduto 1"	2
9	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Esmalte	TE5	2x18AWG + Sh.		eletroduto 1/2"	3
10	Motor / 10CV	QF-Tq. Esmalte	TE5	4X6mm2		eletroduto 1"	2
11	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Esmalte	TE6	2x18AWG + Sh.		eletroduto 1/2"	3
12	Motor / 10CV	QF-Tq. Esmalte	TE6	4X6mm2		eletroduto 1"	2
13	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Esmalte	TE7	2x18AWG + Sh.		eletroduto 1/2"	3
14	Motor / 10CV	QF-Tq. Esmalte	TE7	4X6mm2		eletroduto 1"	2
15	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Esmalte	TE8	2x18AWG + Sh.		eletroduto 1/2"	3
16	Motor / 10CV	QF-Tq. Esmalte	TE8	4X6mm2		eletroduto 1"	2
17	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Esmalte	TE9	2x18AWG + Sh.		eletroduto 1/2"	3
18	Motor / 10CV	QF-Tq. Esmalte	TE9	4X6mm2		eletroduto 1"	2
19	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Esmalte	TE10	2x18AWG + Sh.		eletroduto 1/2"	3
20	Motor / 10CV	QF-Tq. Esmalte	TE10	4X6mm2		eletroduto 1"	2
21	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Esmalte	TE11	2x18AWG + Sh.		eletroduto 1/2"	3
22	Motor / 10CV	QF-Tq. Esmalte	TE11	4X6mm2		eletroduto 1"	2
23	Sensor 4-20 mA	QF-Tq. Esmalte	TE12	2x18AWG + Sh.		eletroduto 1/2"	3
24	Motor / 10CV	QF-Tq. Esmalte	TE12	4X6mm2		eletroduto 1"	2
25	Sensor de Vazão1	QF-Tq. Esmalte		2x18AWG + Sh.		eletroduto 1/2"	4,5
26	Sensor de Vazão2	QF-Tq. Esmalte		2x18AWG + Sh.		eletroduto 1/2"	4,5
27	Interlig. 400X100	QF-Tq. Esmalte	Sala Tq-Esmalte			Eletroc. 400x100	8,5
28	Interlig.1 -100X100	Eletroc. 400x100	TE10			Eletroc. 100x100	12,5
29	Interlig.2 -100X100	Eletroc. 400x100	TE11			Eletroc. 100x100	12,5
30	Interlig.3 -100X100	Eletroc. 400x100	TE12			Eletroc. 100x100	12,5
31	Interlig.3 -100X100	Eletroc. 400x100	Sala Tq-Trabalho			Eletroc. 100x100	25

A seguir, serão apresentados os resultados obtidos através da equação desenvolvida neste trabalho, aplicada às ilhas 2, 3, 4, 5 e 6, conforme Tabelas 24, 25, 26, 27 e 28.

TABELA 24 – EQUAÇÃO DESENVOLVIDA APLICADA À ILHA 2.

Ilha 2 - Mistura / Distância lbs = 25m / Número de Pontos = 35											
No. da associação	Nome da associação	Comprimento do cabo (m)	Vcabo_campo / R\$ (Quadro 10)	F2 (Quadro 11)	F3 (Quadro 12)	Valor de mão-de-obra para lançamento/conexão de cabos	Comprimento infra-estrutura (m)	V_infra_campo / R\$ (Quadro 7)	F1 (Quadro 8)	Valor de mão-de-obra para infra-estrutura	
1	Dc_2_1	23	13,60	1	1,94	606,83	8	8,00	2	128,00	
2	Dc_2_2	21	20,80	2,0769	1,94	1.759,95	6	8,00	2	96,00	
3	Dc_2_3	21	13,60	1	1,94	554,06	6	8,00	2	96,00	
4	Dc_2_4	23	13,60	1	1,94	606,83	8	8,00	2	128,00	
5	Dc_2_5	21	20,80	2,0769	1,94	1.759,95	6	8,00	2	96,00	
6	Dc_2_6	21	13,60	1	1,94	554,06	6	8,00	2	96,00	
7	Dc_2_7	23	13,60	1	1,94	606,83	8	8,00	2	128,00	
8	Dc_2_8	8	13,60	1	1,94	211,07	3	8,00	2	48,00	
9	Interlig. 400X100							21	16,00	2	672,00
<b>TOTAL</b>						<b>6.659,59</b>				<b>1.488,00</b>	

TABELA 25 – EQUAÇÃO DESENVOLVIDA APLICADA À ILHA 3.

Ilha 3 - Moinho 1/2 /Distância lbs = 15m /Número de Pontos =6											
No. da associação	Nome da associação	Comprimento do cabo (m)	Vcabo_campo / R\$ (Quadro 10)	F2 (Quadro 11)	F3 (Quadro 12)	Valor de mão-de-obra para lançamento/conexão de cabos	Comprimento infra-estrutura (m)	V_infra_campo / R\$ (Quadro 7)	F1 (Quadro 8)	Valor de mão-de-obra para infra-estrutura	
1	Dc_3_1	12	13,60	1	1,94	316,61	8	8,00	2	128,00	
2	Dc_3_2	12	13,60	1	1,94	316,61	8	8,00	2	128,00	
3	Dc_3_3	11	20,80	2,0769	1,94	921,88	7	8,00	2	112,00	
4	Dc_3_4	12	13,60	1	1,94	316,61	8	8,00	2	128,00	
5	Dc_3_5	12	13,60	1	1,94	316,61	8	8,00	2	128,00	
6	Dc_3_6	11	20,80	2,0769	1,94	921,88	7	8,00	2	112,00	
7	Interlig. 400X100						0,00	31	16,00	2	992,00
<b>TOTAL</b>						<b>3.110,19</b>				<b>1.728,00</b>	



TABELA 26 – EQUAÇÃO DESENVOLVIDA APLICADA À ILHA 4.

Ilha 4 - Tanque de Retalho /Distância lbs =30m /Número de Pontos =44										
No. da associação	Nome da associação	Comprimento do cabo (m)	Vcabo_campo / R\$ (Quadro 10)	F2 (Quadro 11)	F3 (Quadro 12)	Valor de mão-de-obra para lançamento/conexão de cabos	Comprimento infra-estrutura (m)	V_infra_campo / R\$ (Quadro 7)	F1 (Quadro 8)	Valor de mão-de-obra para infra-estrutura
1	Dc_4_1	18	13,60	1	1,94	474,91	6	8,00	2	96,00
2	Dc_4_2	15	13,60	1	1,94	395,76	3	8,00	2	48,00
3	Dc_4_3	16	13,60	1	1,94	422,14	6	8,00	2	96,00
4	Dc_4_4	13	13,60	1	1,94	342,99	3	8,00	2	48,00
5	Dc_4_5	20	13,60	1	1,94	527,68	6	8,00	2	96,00
6	Dc_4_6	17	13,60	1	1,94	448,53	3	8,00	2	48,00
7	Dc_4_7	18	13,60	1	1,94	474,91	6	8,00	2	96,00
8	Dc_4_8	15	13,60	1	1,94	395,76	3	8,00	2	48,00
9	Dc_4_9	25	13,60	1	1,94	659,60	6	8,00	2	96,00
10	Dc_4_10	22	13,60	1	1,94	580,45	3	8,00	2	48,00
11	Dc_4_11	23	13,60	1	1,94	606,83	6	8,00	2	96,00
12	Dc_4_12	20	13,60	1	1,94	527,68	3	8,00	2	48,00
13	Dc_4_13	24	13,60	1	1,94	633,22	6	8,00	2	96,00
14	Dc_4_14	21	13,60	1	1,94	554,06	3	8,00	2	48,00
15	Dc_4_15	21	13,60	1	1,94	554,06	6	8,00	2	96,00
16	Dc_4_16	18	13,60	1	1,94	474,91	3	8,00	2	48,00
17	Dc_4_17	22	13,60	1	1,94	580,45	6	8,00	2	96,00
18	Dc_4_18	19	13,60	1	1,94	501,30	3	8,00	2	48,00
19	Dc_4_19	19	13,60	1	1,94	501,30	6	8,00	2	96,00
20	Dc_4_20	16	13,60	1	1,94	422,14	3	8,00	2	48,00
21	Dc_4_21	20	13,60	1	1,94	527,68	3	8,00	2	48,00
22	Interlig. 400X100					0,00	14	16,00	2	448,00
23	Interlig.1 -100X100					0,00	8	16,00	2	256,00
24	Interlig.2 -100X100					0,00	8	16,00	2	256,00
<b>TOTAL</b>						<b>10.606,37</b>				<b>2.448,00</b>

TABELA 27 – EQUAÇÃO DESENVOLVIDA APLICADA À ILHA 5.

Ilha 5 - Tanque de Trabalho /Distância lbs = 12m /Número de Pontos =48												
No. da associação	Nome da associação	Comprimento do cabo (m)		Vcabo_campo / R\$ (Quadro 10)		F2 (Quadro 11)	F3 (Quadro 12)	Valor de mão-de-obra para lançamento/conexão de cabos	Comprimento infra-estrutura (m)	V_infra_campo / R\$ (Quadro 7)	F1 (Quadro 8)	Valor de mão-de-obra para infra-estrutura
1	Dc_5_1	24	13,60	1	1,94	633,22	3	8,00	2	48,00		
2	Dc_5_2	21	13,60	1	1,94	554,06	2	8,00	2	32,00		
3	Dc_5_3	20	13,60	1	1,94	527,68	3	8,00	2	48,00		
4	Dc_5_4	17	13,60	1	1,94	448,53	2	8,00	2	32,00		
5	Dc_5_5	26	13,60	1	1,94	685,98	3	8,00	2	48,00		
6	Dc_5_6	23	13,60	1	1,94	606,83	2	8,00	2	32,00		
7	Dc_5_7	22	13,60	1	1,94	580,45	3	8,00	2	48,00		
8	Dc_5_8	19	13,60	1	1,94	501,30	2	8,00	2	32,00		
9	Dc_5_9	29	13,60	1	1,94	765,14	3	8,00	2	48,00		
10	Dc_5_10	26	13,60	1	1,94	685,98	2	8,00	2	32,00		
11	Dc_5_11	25	13,60	1	1,94	659,60	3	8,00	2	48,00		
12	Dc_5_12	22	13,60	1	1,94	580,45	2	8,00	2	32,00		
13	Dc_5_13	31	13,60	1	1,94	817,90	3	8,00	2	48,00		
14	Dc_5_14	28	13,60	1	1,94	738,75	2	8,00	2	32,00		
15	Dc_5_15	27	13,60	1	1,94	712,37	3	8,00	2	48,00		
16	Dc_5_16	24	13,60	1	1,94	633,22	2	8,00	2	32,00		
17	Dc_5_17	34	13,60	1	1,94	897,06	3	8,00	2	48,00		
18	Dc_5_18	31	13,60	1	1,94	817,90	2	8,00	2	32,00		
19	Dc_5_19	30	13,60	1	1,94	791,52	3	8,00	2	48,00		
20	Dc_5_20	27	13,60	1	1,94	712,37	2	8,00	2	32,00		
21	Dc_5_21	24	13,60	1	1,94	633,22	4,5	8,00	2	72,00		
22	Dc_5_22	20	13,60	1	1,94	527,68	4,5	8,00	2	72,00		
23	Dc_5_23	34	13,60	1	1,94	897,06	4,5	8,00	2	72,00		
24	Dc_5_24	30	13,60	1	1,94	791,52	4,5	8,00	2	72,00		
25	Dc_5_25	15	13,60	1	1,94	395,76	3	8,00	2	48,00		
26	Dc_5_26	10	13,60	1	1,94	263,84	3	8,00	2	48,00		
27	Interlig. 400X100							0,00	7	16,00	2	224,00
28	Interlig.1 -100X100							0,00	13	16,00	2	416,00
29	Interlig.2 -100X100							0,00	13	16,00	2	416,00
<b>TOTAL</b>								<b>16.859,38</b>			<b>2.240,00</b>	

TABELA 28 – EQUAÇÃO DESENVOLVIDA APLICADA À ILHA 6.

Ilha 6 - Tanque de Esmalte /Distância lbs =15m /Número de Pontos = 26											
No. da associação	Nome da associação	Comprimento do cabo (m)	Vcabo_campo / R\$ (Quadro 10)	F2 (Quadro 11)	F3 (Quadro 12)	Valor de mão-de-obra para lançamento/conexão de cabos	Comprimento infra-estrutura (m)	V_infra_campo / R\$ (Quadro 7)	F1 (Quadro 8)	Valor de mão-de-obra para infra-estrutura	
1	Dc_6_1	33	13,60	1	1,94	870,67	3	8,00	2	48,00	
2	Dc_6_2	30	13,60	1	1,94	791,52	2	8,00	2	32,00	
3	Dc_6_3	37	13,60	1	1,94	976,21	3	8,00	2	48,00	
4	Dc_6_4	34	13,60	1	1,94	897,06	2	8,00	2	32,00	
5	Dc_6_5	39	13,60	1	1,94	1.028,98	3	8,00	2	48,00	
6	Dc_6_6	36	13,60	1	1,94	949,82	2	8,00	2	32,00	
7	Dc_6_7	35	13,60	1	1,94	923,44	3	8,00	2	48,00	
8	Dc_6_8	32	13,60	1	1,94	844,29	2	8,00	2	32,00	
9	Dc_6_9	39	13,60	1	1,94	1.028,98	3	8,00	2	48,00	
10	Dc_6_10	36	13,60	1	1,94	949,82	2	8,00	2	32,00	
11	Dc_6_11	43	13,60	1	1,94	1.134,51	3	8,00	2	48,00	
12	Dc_6_12	40	13,60	1	1,94	1.055,36	2	8,00	2	32,00	
13	Dc_6_13	39	13,60	1	1,94	1.028,98	3	8,00	2	48,00	
14	Dc_6_14	36	13,60	1	1,94	949,82	2	8,00	2	32,00	
15	Dc_6_15	43	13,60	1	1,94	1.134,51	3	8,00	2	48,00	
16	Dc_6_16	40	13,60	1	1,94	1.055,36	2	8,00	2	32,00	
17	Dc_6_17	44	13,60	1	1,94	1.160,90	3	8,00	2	48,00	
18	Dc_6_18	42	13,60	1	1,94	1.108,13	2	8,00	2	32,00	
19	Dc_6_19	41	13,60	1	1,94	1.081,74	3	8,00	2	48,00	
20	Dc_6_20	38	13,60	1	1,94	1.002,59	2	8,00	2	32,00	
21	Dc_6_21	44	13,60	1	1,94	1.160,90	4,5	8,00	2	72,00	
22	Dc_6_22	42	13,60	1	1,94	1.108,13	4,5	8,00	2	72,00	
23	Dc_6_23	47	13,60	1	1,94	1.240,05	4,5	8,00	2	72,00	
24	Dc_6_24	44	13,60	1	1,94	1.160,90	4,5	8,00	2	72,00	
25	Dc_6_25	34	13,60	1	1,94	897,06	3	8,00	2	48,00	
26	Dc_6_26	36	13,60	1	1,94	949,82	3	8,00	2	48,00	
27	Interlig. 400X100					0,00	7	16,00	2	224,00	
28	Interlig.1 -100X100					0,00	13	16,00	2	416,00	
29	Interlig.2 -100X100					0,00	13	16,00	2	416,00	
30	Interlig.3 -100X100					0,00	13	16,00	2	416,00	
31	Interlig.4 -100X100					0,00	13	16,00	2	416,00	
<b>TOTAL</b>						<b>26.489,54</b>				<b>3.072,00</b>	

De acordo com os Tabelas anteriores, a primeira parte da equação, que se refere à mão-de-obra para programação (V1) e para o lançamento, conexão e preparação de infra-estrutura para o sistema Interbus (V2), pode ser obtida da forma que segue:

Onde  $V1 = NP \times V_{prog}$ , que equivale ao valor da mão-de-obra para programação

$$211 \times R\$ 40,00 = R\$ 8.440,00$$

$Dibs \times [ V_{infra\_ibs} \times F1 + V_{cabo\_ibs} \times F2 ] = V2$ , corresponde aos valores de mão-de-obra e confecção da infra-estrutura que irá suportar o cabo Interbus, lançamento e conexão do mesmo nos painéis em que ele interliga, portanto:

$102 \times [ R\$ 8,00 \times 2 + R\$13,60 \times 1 ] = R\$ 1.632,00 + R\$ 1.387,20$ , sendo o primeiro correspondente ao valor da mão-de-obra para cabos e o segundo a infra-estrutura.

A aplicação da equação possibilitou a apresentação dos valores finais de acordo com o Tabela seguinte:

*TABELA 29 – VALORES OBTIDOS POR MEIO DA EQUAÇÃO DESENVOLVIDA.*

Ilha	Valor de mão-de-obra para lançamento e conexão de cabos	Valor de mão-de-obra para infra-estrutura	Valor de mão-de-obra para programação	Total (mão-de-obra para projeto e execução)
1	R\$ 15.719,59	R\$ 2.464,00		
2	R\$ 6.659,59	R\$ 1.488,00		
3	R\$ 3.110,19	R\$ 1.728,00		
4	R\$ 10.606,37	R\$ 2.448,00		
5	R\$ 16.859,38	R\$ 2.240,00		
6	R\$ 26.489,54	R\$ 3.072,00		
Interbus	R\$ 1.387,20	R\$ 1.632,00	R\$ 8.440,00	
<b>Sub-total</b>	<b>R\$ 80.831,86</b>	<b>R\$ 15.072,00</b>	<b>R\$ 8.440,00</b>	<b>R\$ 104.343,86</b>

Considerando-se as relações de grandeza obtidas por meio da Tabela 4, intitulada Rateio de Custo em Projetos de Automação, 30% do custo equivale à mão-de-obra na fase de projeto, 12% equivale à mão-de-obra para a execução propriamente dita e 10% a acompanhamento e Start up, porém a prática mostra que usualmente esse valor acaba por ser embutido no valor de execução.

Nesse caso, não houve a contratação de valor para Start up. Assim sendo, o valor de R\$104.343,86 corresponde ao valor de mão-de-obra relacionada ao projeto e à execução, que equivale a 42% do valor total, dessa forma, torna-se possível estimar o valor total do projeto, excetuando-se o valor de Start up, que não foi contratado, corresponderá a R\$223.594,00.

Dados obtidos junto ao desenvolvedor do sistema indicam os seguintes custos relacionados a esse projeto:

*TABELA 30 – RESUMO DOS CUSTOS REAIS DO PROJETO.*

Painéis de controle e potência - material e mão-de-obra.	R\$ 128.000,00
Passagem de cabos	R\$ 13.000,00
Hardware	R\$ 50.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 191.000,00</b>

## 6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A diferença entre o valor real do projeto (R\$ 191.000,00) e o valor obtido por meio da equação desenvolvida neste trabalho (R\$ 223.594,00) corresponde a 17%, o que em primeiro instante demonstra uma razoável aproximação, que justifica a proposta de se obter uma forma inicial de análise e comparação, objetivo ao qual este trabalho se propõe.

Todavia, uma análise pormenorizada sobre esse resultado, buscando a justificativa para essa diferença, acaba apontando para os seguintes pontos:

Toda a equação foi desenvolvida utilizando valores de mão-de-obra e pesos no valor global do projeto, considerando-se nas entrevistas empresas de porte médio e grande no segmento e com atuação no estado de São Paulo. No entanto, como esse projeto desenvolveu-se em outro estado, parte dos serviços acabou sendo contratada localmente, o que gera uma distorção nos valores, como, por exemplo, a quantia paga para a realização da passagem de cabos (R\$ 13.000,00 ), serviço este que não contemplou a conexão dos mesmos. Esse valor, pela complexidade do serviço, seria impraticável por qualquer uma das empresas entrevistadas e que fizeram parte deste trabalho.

Cabe uma parcela também à circunstancialidade, pela qual o poder de negociação, novos entrantes no segmento e a sazonalidade levam empresas a praticarem valores mais baixos, o que verifica-se uma prática normal durante o processo de negociação final, porém alerta-se que, caso seja realizado indiscriminadamente, esse procedimento poderá levar a empresa de engenharia a problemas, tema já abordado neste trabalho, além, é claro, de acabar comprometendo a empresa contratante.

Outra informação relevante relaciona-se ao aspecto de utilização da rede Interbus, cujo principal diferencial baseia-se na alta capacidade de distribuição dos pontos de rede, teve esta característica pouco explorada nesse projeto. Ressalta-se que isso se deve a uma exigência do cliente final, que por deter

pouco conhecimento sobre a rede Interbus buscou alta disponibilidade do sistema, solicitando um mecanismo que, em uma eventual falha na rede, possibilite a operação manual da linha. Esse conceito justifica o agrupamento em painéis, que facilitará a elaboração desse sistema de transferência do modo automático para o manual.

Porém, caso os mesmos módulos que foram instalados nos painéis tivessem sua aplicação no campo, junto às maiores concentrações de ponto, explorando ao máximo essa tecnologia, esse reposicionamento impactaria diretamente no valor de mão-de-obra e material relacionado à cablagem e infra-estrutura confeccionada para suportar a mesma. Essa informação justifica-se pela simulação realizada nos Tanques de Base, cujos valores foram apresentados na Tabela 18.

Realizando o reposicionamento proposto para um ponto intermediário entre TB1 e TB2, essa ilha teria os valores ajustados conforme o Tabela 31.

TABELA 31 – APLICAÇÃO DA FÓRMULA NA ILHA 1, COM REPOSICIONAMENTO DOS MÓDULOS.

Ilha 1 - Tanque de Base / Distância lbs = 5m / Número de Pontos = 52											
No. da associação	Nome da associação	Comprimento do cabo (m)	Vcabo_campo / R\$ (tab. 10)	F2 (tab. 11)	F3 (tab. 12)	Valor de mão-de-obra para lançamento/conexão de cabos	Comprimento infra-estrutura (m)	V_infra_campo / R\$ (tab.7)	F1 (tab.8)	Valor de mão-de-obra para infra-estrutura	
1	Dc_1_1	2,5	13,60	1	1,94	65,96	3	8,00	2	48,00	
2	Dc_1_2	28	13,60	1	1,94	738,75	2	8,00	2	32,00	
3	Dc_1_3	12,5	13,60	1	1,94	329,80	3	8,00	2	48,00	
4	Dc_1_4	32,5	13,60	1	1,94	857,48	2	8,00	2	32,00	
5	Dc_1_5	5	13,60	1	1,94	131,92	3	8,00	2	48,00	
6	Dc_1_6	30,5	13,60	1	1,94	804,71	2	8,00	2	32,00	
7	Dc_1_7	15	13,60	1	1,94	395,76	3	8,00	2	48,00	
8	Dc_1_8	35	13,60	1	1,94	923,44	2	8,00	2	32,00	
9	Dc_1_9	7,5	13,60	1	1,94	197,88	3	8,00	2	48,00	
10	Dc_1_10	32,5	13,60	1	1,94	857,48	2	8,00	2	32,00	
11	Dc_1_11	17,5	13,60	1	1,94	461,72	3	8,00	2	48,00	
12	Dc_1_12	37,5	13,60	1	1,94	989,40	2	8,00	2	32,00	
13	Dc_1_13	10	13,60	1	1,94	263,84	3	8,00	2	48,00	
14	Dc_1_14	35	13,60	1	1,94	923,44	2	8,00	2	32,00	
15	Dc_1_15	20	13,60	1	1,94	527,68	3	8,00	2	48,00	
16	Dc_1_16	40	13,60	1	1,94	1.055,36	2	8,00	2	32,00	
17	Dc_1_17	15	13,60	1	1,94	395,76	3	8,00	2	48,00	
18	Dc_1_18	15	13,60	1	1,94	395,76	3	8,00	2	48,00	
19	Cabo_IBS	28	13,60	1	1,94	738,75					
19	Interlig. 400X100							28	16,00	2	896,00
20	Interlig.1 -100X100							13	16,00	2	416,00
21	Interlig.2 -100X100							13	16,00	2	416,00
<b>TOTAL</b>						<b>11.054,90</b>				<b>2.464,00</b>	

Por meio de comparação, verifica-se que o valor anterior de R\$15.719,59 de mão-de-obra para lançamento e conexão dos cabos, demonstrado na Tabela 18, apresenta uma substancial redução de 29,6%, chegando ao valor apresentado no Tabela 31 de R\$11.054,90, redução essa obtida por meio de um simples reposicionamento dos equipamentos.



Estrategicamente adotaram-se como exemplo os pontos relacionados ao Tanque de Base, devido à sua combinação de elemento de comando e potência, constituindo assim a aplicação com menor performance da rede Interbus e conseqüentemente de menor impacto sobre o valor da mesma.

Dessa forma, para o reposicionamento adotou-se que as conexões de potência permaneceriam no painel, mantendo a configuração original, e somente os sensores seriam reposicionados, elementos estes que na Tabela aparecem destacados. Optou-se também pela manutenção da eletrocalha, cujo valor, embora superdimensionado para o sistema, acabaria por anular o custo de uma pequena caixa a ser colocada no campo, para abrigo dos módulos de entradas analógicas.

Além das vantagens financeiras, agora visíveis, tal reposicionamento traz também vantagens técnicas, como facilidade de manutenção devido à proximidade física ao instrumento, redução de pontos susceptíveis a falha ou mesmo a interferências, agilidade na instalação, dentre outras.

Dessa forma, conclui-se que a equação proposta neste trabalho, embora apresente características restritivas de uso, sendo aplicável somente em sistemas que de acordo com a Tabela 16 requeiram a utilização de redes digitais da categoria DeviceBus, apresenta grande aderência ao processo, legitimada pelo interesse das empresas entrevistadas.

Ressalta-se, no entanto, que este trabalho pode ser incrementado por meio de um estudo que possibilite a adequação dos valores à realidades fora do estado de São Paulo, além de mecanismos que possibilitem a atualização dos valores presentes no mesmo ao longo do tempo, calcada em índices compatíveis com o mercado, além da implementação de Técnicas de Análise de Investimento que possibilitem ao seu usuário análise do retorno sobre o capital aplicado no projeto, capacitando-o a analisar se a sua escolha a curto prazo, que consiste no ambiente em que todo este trabalho foi desenvolvido, é realmente a melhor, pois teria recursos para realizar essa análise de forma mais ampla, utilizando

Métodos como: Taxa Interna de Retorno, Pay-Back Descontado, Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno Modificada, Índice de Lucratividade.

Sugere-se ainda como propostas futuras a elaboração de um *software* de apoio à elaboração de orçamentos de projetos para o caso discutido neste trabalho, bem como para outros casos relacionados a outros tipos de redes digitais e sistemas de produção, além de uma melhoria da equação proposta neste trabalho, visando reduzir o grau de incerteza da mesma.

Desse modo, a equação poderá servir como importante ferramenta no processo de tomada de decisão de aprovar a realização do projeto, examinando a coerência entre os elementos do plano operacional, procurando determinar se as atividades possibilitam a realização dos produtos, se os produtos possibilitam o atingimento dos objetivos, e assim por diante.

Ainda poderá ser incorporada à metodologia de empresas de engenharia que, conforme mencionado anteriormente, já demonstraram interesse na adoção da equação ou mesmo parte dela para utilização em seu processo de orçamento, o que por si já funciona como um indicador de coerência e conseqüente aceitação deste trabalho nesse segmento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINHO, O.L. **Estudo da flexibilidade dos sistemas produtivos**. Tese Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de São Paulo, São Carlos, 1985.

BLOME, W. & JANSEN, W. **Interbus–The Open and Universal Communication System**. Blomberg: Landsberg/Lech: Verlag Moderne Industrie. 1998.

BLOME, W. & KLINKER, W. **The Sensor/Actuator Bus – Theory and Practice of Interbus**. Blomberg: Landsberg/Lech:Verlag Moderne Industrie. 1994.

BRYMAN, A. **Research Methods and Organization Studies**. Londres: Univin Hyman, 1989.

CHU, M.G.P.K. **Diagnóstico da Estratégia Competitiva e de Produção em uma Unidade de Negócios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. 2002.

COHEN, D.J. & GRAHAN, R.J. **Gestão de Projetos: MBA Executivo**. São Paulo: Editora Campus. 2002.

DAVIS, M.N.J.A. & CHASE, R.B. **Fundamentos da administração da produção**. Porto Alegre: Bookman Editora. 2001.

FACHBUCH, V. **Basic Course Sensor/Actuator Fieldbus Technology**. Blomberg: Phoenix Contact. 1999.

FERREIRA, A.B.H. **Dicionário da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira. 1988.

FORTES, M. **Comparativo Técnico (Interbus x DeviceNet x Profibus-DP) – Diferenciais do Padrão INTERBUS**. Informativo Interbus Club. 1998.

GAMA, S.L. **Redes de Comunicação Industrial DeviceNet e ControlNet**. Informativo Quality, ano 1, n. 3, dez. 1999.

HUBBARD, D.G. **The AMA handbook of project management**. New York: Amacon. 1993.

LEBLANC, C. **The Future of Industrial Networking and Connectivity**.

Disponível em

<<http://ethernet.industrialnetworking.com/articles/chrisleblanc.asp>>. 2002.

LOPEZ, R.A. **Sistemas de Redes para Controle e Automação**. Rio de Janeiro: BookExpress. 2000.

Manual Interbus. **INTERBUS Slave Implementation Guide – Communication Software PCP / IBS SIG Part 4 UM E**. Blomberg: Phoenix Contact. 1997.

Manual Simatic S5. **ET200U Distributed I/O Station / EWA 4 NEB 812 6087-026** – Siemens, Edition 03, 1993.

MARINO, A.F.: **A Internet na Automação, Instrumentação e Controle de Processo**. Revista Intech, jan. 2000.

MARTINI, J.S.C. **Segunda onda da automação inicia revolução comparável à da informática**. Revista Controle & Instrumentação, ano 3, n. 21, abr. 1998.

MARTINS, R.A. **Sistemas de Medição de Desempenho: Um Modelo para Estruturação do Uso**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1999.

MAXIMIANO, A.C.A. **Administração de projetos: Como transformar idéias em resultados**. São Paulo: Editora Atlas. 1997.

MEREDITH, J.R. & SHAFER, S.J. **Administração da produção para MBAs**. Porto Alegre: Bookman Editora. 2002.

MORAES, C.C. & CASTRUCCI, P.L. **Engenharia de Automação Industrial**. Rio de Janeiro: LTC. 2001.

NATALE, F. **Automação Industrial**. São Paulo: Editora Érica. 1997.

ROCHA, I.R. **Redes de comunicação industriais: solução ou opção?**  
Revista InTech- Brasil, maio. 1998.

SCHMITZ, H. & CARVALHO, R.Q. **Automação, Competitividade e Trabalho: A Experiência Internacional**. São Paulo: Hucitec. 1988.

SOUZA, L.E. **Automação Industrial**. Informativo Quality, ano1, n.3, dez. 1999.

TANENBAUM, A.S. **Sistemas Operacionais Modernos**. Rio de Janeiro: LTC. 1995.

VITOR, C.L.D. **Redes de Automação ControlNet, DeviceNet e Fieldbus**.  
Revista Controle & Instrumentação, ano 5, n. 50, set. 2000.

WESTBROOK, R. **Action Research: A New Paradigm for Research in Production Operations Management**. Londres: London Business School. 1994.

YIN, R.K. **Case Study Research: Design and Methods**. Londres: Sage. 1989.

**BIBLIOGRAFIA CONSULTADA**

FREIRE, T.C. **Mercedes Benz – tecnologia classe A.** Revista Controle & Instrumentação, ano 3, n. 27, out. 1998.

FREIRE, T.C. **Painel Informativo dos Buses.** Revista Controle & Instrumentação, ano 4, n. 32, mar. 1999.

CAMARGO, P. **Profibus.** Revista Controle & Instrumentação, ano 4, n. 32, mar. 1999.

GAMA, S.L. **DeviceNet e ControlNet.** Revista Controle & Instrumentação, ano 4, n. 32, mar. 1999.

PEREIRA, A.P. & SANTOS, L. **Gerenciamento de Ativos: Exemplos de diminuição de custos no Projeto e Durante a Operação.** Revista Controle & Instrumentação, ano 7, n. 80, mai. 2003.

RALIZE, C.H.C. **Características das Transmissões em Redes Industriais.** Revista Mecatrônica, ano 2, n.11, ago. 2003.

Site FIELDBUS: [www.hms.se](http://www.hms.se)

Site PROFIBUS: [www.profibus.com](http://www.profibus.com)

Site INTERBUS Club: [www.interbusclub.com](http://www.interbusclub.com)

Site Industrial Ethernet : [www.industrialethernet.com](http://www.industrialethernet.com)

## **ANEXOS**

Anexo A