



**FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC
ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO, CONTROLE E ROBÓTICA**

MARCOS FELLIPE REIS DA SILVA

**UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO APLICADO A UM ROBÔ INDUSTRIAL
UTILIZANDO TECNOLOGIA OPEN SOURCE**

Salvador

2015

MARCOS FELLIPE REIS DA SILVA

**UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO APLICADO A UM ROBÔ INDUSTRIAL
UTILIZANDO TECNOLOGIA OPEN SOURCE**

Monografia apresentada à Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC como requisito parcial para a obtenção do Título de Especialista em Automação, Controle e Robótica.

Professor Orientador: Prof. Me. Oberdan Rocha Pinheiro

Salvador
2015

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

S586s Silva, Marcos Fellipe Reis da.

Um sistema de comunicação aplicado a um robô industrial utilizando tecnologia open source / Marcos Fellipe Reis da Silva – Salvador, 2015.

63 f.: il. color.

Orientador: Me. Oberdan Rocha Pinheiro.

Monografia (Especialização em Automação, Controle e Robótica) – Programa de Pós-Graduação, Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, Salvador, 2015.

Inclui referências.

1. Robótica. 2. Open Source. 3. Redes Industriais. 4. Devicenet. 5. Ethernet. I. Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC. II. Pinheiro, Oberdan Rocha. III. Título.

CDD 629.8

MARCOS FELLIPE REIS DA SILVA

**UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO APLICADO A UM ROBÔ INDUSTRIAL
UTILIZANDO TECNOLOGIA OPEN SOURCE**

Projeto Final de Curso aprovado com nota 7,8 (sete e oito) como requisito de Especialista em Automação, Controle e Robótica, tendo sido julgado pela Banca Examinadora formada pelos Professores:

Msc. Oberdan Rocha Pinheiro– Orientador

Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

Msc. Milton Bastos de Souza – Professor convidado

Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

Salvador, 21 de março de 2015.

*Dedico esta monografia de conclusão de curso
à minha família.*

“Automação esteve, está e estará sempre no nosso meio.

*Essa é a forma que temos de ver o amanhã controlando
o hoje de uma forma diferente”.*

Michael Roveri.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a minha família, que através do amor, carinho, paciência e compreensão moldaram grande parte do ser humano que sou hoje e me deu apoio incondicional durante todo o processo de graduação.

Agradeço ao SENAI Cimatec pela oportunidade de cursar o programa de pós graduação em Automação, Controle e Robótica. Agradeço a todos os meus professores, que transmitiram parte de seu conhecimento a mim, a fim de me ajudar a obter os conhecimentos necessários para esta profissão.

Ao orientador prof. Me. Oberdan Pinheiro, gostaria de agradecer pelo apoio e incentivo como coordenador do programa de especialização e como orientador deste trabalho.

RESUMO

Esta monografia apresenta uma solução de hardware, utilizando placa Arduino Uno com Shield Ethernet a fim de substituir o módulo de comunicação do Robô ABB em Devicenet por padrão open source Ethernet. O trabalho de conclusão de curso começou com o estudo teórico sobre conceitos de Redes industriais, protocolos de comunicação e tecnologias open sources. A arquitetura foi realizada através dos estudos realizados na área. Para implementação da solução, foi utilizado Arduino Uno se comunicando em protocolo TCP/IP com o Robô ABB. O Arduino foi utilizado para a interface de acionamento da garra do Robô para teste de conceito. Os resultados foram satisfatórios e demonstraram que a solução proposta pode ser aplicada ao projeto de um sistema de comunicação aplicado a um robô industrial utilizando tecnologia open source.

Palavras-chave: Robótica, Open Source, Redes Industriais, Devicenet, Ethernet.

ABSTRACT

This monograph presents a hardware solution, using Arduino Uno with Shield Ethernet card to replace the communication module ABB Robot on DeviceNet for open source Ethernet. The Final work began with the theoretical study of concepts of industrial networks, communication protocols and open sources technologies. The architecture was carried out through studies conducted in the area. To implement the solution, was used Arduino Uno communicating on TCP / IP protocol with the ABB robot. Arduino was used to drive the robot gripper interface for proof of concept. The results were satisfactory and demonstrated that the proposed solution can be applied to the design of a communication system applied to an industrial robot using open source technology.

Key words: Robotics, Open Source, Industrial Networks, DeviceNet, Ethernet.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Partes essenciais de um robô industrial.....	18
Figura 2 – Robô industrial com seis graus de liberdade	19
Figura 3 – Dispositivo de programação para robô ABB	20
Figura 4 - Pirâmide de automação	21
Figura 5 – Exemplo de automação industrial	22
Figura 6 – a) Hub, b) Switch, c) Roteador e d) Modem.....	25
Figura 7 – Arquitetura Multiponto	26
Figura 8 – Arquitetura de Rede Estrela	27
Figura 9 – Arquitetura de Rede tipo Anel	27
Figura 10 – Arquitetura de Rede tipo Barramento.....	28
Figura 11 – Arquitetura de Rede tipo Árvore	28
Figura 12 – Camadas do modelo OSI	31
Figura 13 – Exemplo de rede PROFIBUS interligando Sensores e Motores aos PCs e CLPs	38
Figura 14 – Arquitetura protocolo PROFIBUS comparada ao modelo OSI	39
Figura 15 – Arquitetura do modelo TCP/IP comparada ao modelo OSI.....	40
Figura 16 – Arquitetura de Rede Profinet I/O e CBA comparado ao modelo OSI	44
Figura 17 – Ciclo de desenvolvimento de um projeto Open Source.....	47
Figura 18 – Solicitação de Serviço	49
Figura 19 – Esquema de ligação dos elementos utilizados.....	50
Figura 20 – Socket Messaging em RAPID	51
Figura 21 – Ethernet Client em C	51
Figura 22 – Módulo I/O de Comunicação	52
Figura 23 - Robô ABB IRB 140	53
Figura 24 – Controlador IRC5 ABB do Robô ABB IRB 140.....	53
Figura 25 – a) Placa Arduino UNO R3 ; b) Ethernet Shield W5100 ; c) Módulo Relé 2 canais 5V ; d) Switch DES-1008A da D-Link; e) Conexão entre os elementos a), b) e c).....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Protocolos FIELDBUS “TIPOS”	36
Tabela 2 – Protocolos FIELDBUS segundo norma IEC 61784.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASCII – American Standard Code for Information Interchange
AC – Alternating Current
CAN – Controller Area Network
CLP – Controlador Lógico Programável
CSMA/CD - Carrier Sense Multiple Access with collision Detect
DC – Direct Current
DCOM – Distributed Component Object Model
DCS – Distributed Control System
DDE – Dynamic Data Exchange
DNP – Distributed Network Protocol
EBDIC – Extended Binary Coded Decimal Interchanged Code
FTP – File Transfer Protocol
HDLC – High-level Data Link Control
HTTP – HyperText Transfer Control
IEC – Ingeneering Eletrotecnical Comite
I/O – Input/Output
IP – Internet Protocol
ISO – International Standard Organization
LAN – Local Area Network
MAN – Metropolitan Area Network
NFS – Network File System
OSI – Open Systems Interconection
OSS – Open Source Software
PC – Personal Computer
SMTP – Simple Mail Transfer Protocol
SNMP – Simple Network Management Protocol
SSL – Secure Sockets Layers
TCP – Transmission Control Protocol
TELNET – Terminal Emulation
UAC – Unidade de Aquisição de Dados e Controle
UDP – User Datagram Protocol
VCS – Version Control System
WAN – Wide Area Network

SUMÁRIO

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	13
1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	13
1.2 OBJETIVO	13
1.3 ORGANIZAÇÃO DA MONOGRAFIA	13
CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 HISTÓRICO DA AUTOMAÇÃO	15
2.2 ROBÓTICA E AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL.....	16
2.3 REDES.....	22
2.3.1 Rede LAN	23
2.3.2 Rede MAN	23
2.3.3 Rede WAN	24
2.3.4 Equipamentos básicos de uma rede	24
2.3.5 Arquitetura de redes	25
2.3.5.1 Ponto a Ponto.....	25
2.3.5.2 Multiponto.....	25
2.3.5.3 Estrela	26
2.3.5.4 Anel	27
2.3.5.5 Barramento.....	27
2.3.5.6 Topologia em árvore	28
2.3.6 Meios de transmissão	29
2.3.7 Protocolos de Comunicação	29
2.3.8 Camadas de rede ISO, o modelo OSI	30
2.3.8.1 Nível 1 – Físico.....	31
2.3.8.2 Nível 2 – Enlace	31
2.3.8.3 Nível 3 – Rede.....	32
2.3.8.4 Nível 4 – Transporte.....	32
2.3.8.5 Nível 5 – Sessão	33
2.3.8.6 Nível 6 – Apresentação	33
2.3.8.7 Nível 7 – Aplicação.....	34
2.4 REDES INDUSTRIAIS	34
2.4.1 Fieldbus – Barramento de campo	35

2.4.2	MODBUS	37
2.4.3	PROFIBUS	37
2.4.3.1	Arquitetura do protocolo	38
2.4.4	Protocolo TCP/IP	40
2.4.5	Ethernet	42
2.4.5.1	Propriedades de uma Ethernet	43
2.4.5.2	Ethernet industrial – Profinet	43
2.4.6	Devicenet	45
2.5	TECNOLOGIA OPEN SOURCE	45
CAPÍTULO III – PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO		49
3.1	DESCRIÇÃO DO PROJETO	49
CAPÍTULO IV - AVALIAÇÃO E RESULTADOS EXPERIMENTAIS		52
CAPÍTULO V – CONSIDERAÇÕES FINAIS		55
5.1	CONCLUSÕES	55
5.2	CONTRIBUIÇÕES E ATIVIDADES FUTURAS DA PESQUISA	56
REFERÊNCIAS		57
APÊNDICES		60
APÊNDICE A – CÓDIGOS IMPLANTADOS SISTEMA DE COMUNICAÇÃO		61
APÊNDICE B – CÓDIGOS IMPLANTADOS EM RAPID NO CONTROLADOR DO ROBÔ		63

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A preocupação com os custos por parte da Indústria é uma questão crucial para a sobrevivência no mercado. A cada ano essa diretriz tem sido mais explorada, o que faz com que novos métodos sejam desenvolvidos e também se intensifique a busca por alternativas em relação à utilização dos recursos tecnológicos disponíveis com qualidade igual ou superior e menor custo.

Com esta necessidade de se ter uma melhor gestão dos custos em toda cadeia de valor no segmento da indústria, investir em tecnologias já existentes também pode reduzir gastos com equipamentos.

1.2 OBJETIVO

O referido trabalho tem por objetivo mostrar que é possível reduzir custos em plantas industriais introduzindo um sistema de comunicação para robôs utilizando tecnologias open source. O Objetivo específico deste projeto é substituir um módulo de comunicação em padrão fechado comunicado em Devicenet fornecido pela fabricante por uma solução em padrão aberto (Open source) comunicando em Ethernet.

1.3 ORGANIZAÇÃO DA MONOGRAFIA

A seguir, o trabalho de conclusão de curso está dividido nos seguintes tópicos:

Capítulo I – Introdução – Contextualiza o âmbito no qual o projeto de conclusão de curso está inserido. Os objetivos e as justificativas do trabalho, além do estado da arte na área de pesquisa, são apresentados nesta seção.

Capítulo II – Revisão Bibliográfica – abordará a parte conceitual que fundamentou a pesquisa e o desenvolvimento do projeto.

Capítulo III – Projeto e Implementação – trará os detalhes técnicos da proposta da solução para os objetivos do projeto e a construção do trabalho.

Capítulo IV – Avaliação e Resultados Experimentais – mostrará as avaliações dos testes realizados e os comentários sobre as informações alcançadas.

Capítulo V – Considerações Finais – fechará o trabalho da monografia com as considerações finais sobre o desenvolvimento e os resultados do trabalho. Além disso, as sugestões para trabalhos futuros serão realizadas.

CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No capítulo 2 serão abordados conceitos sobre automação, robótica, redes e protocolos industriais que ajudarão na compreensão do restante deste trabalho de conclusão de curso.

2.1 HISTÓRICO DA AUTOMAÇÃO

A automação muitas vezes é considerada um desenvolvimento contemporâneo, porém o uso de técnicas mecânicas para redução de trabalhos árduos ou repetitivos data de longo período. A Tecelagem e impressão, ambos processos laboriosos, atingiram estágios de automação avançada mesmo antes da Revolução Industrial. Os moinhos de ventos foram usados para converter energia do vento em força mecânica para triturar o trigo durante séculos [TURNER. 1982]

“A arte de controlar é tão antiga quanto as necessidades humanas de desenvolver seus próprios sentidos. Mesmo não dispondo de grandes tecnologias, o homem mantinha a qualidade em seus artefatos e desenvolvia projetos eficazes direcionados ao controle de suas exigências” [SILVEIRA, 2005, p.1].

A Revolução Industrial em meados do século XVIII foi um marco da transição de uma sociedade predominantemente agrícola e moldada na produção de bens de consumo de forma artesanal, para uma sociedade industrial, mais produtiva e voltada ao consumo dentro de um novo modelo econômico. Uma sociedade comprometida com os avanços tecnológicos, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida [SILVEIRA, 2005].

A Revolução Industrial resultou no desenvolvimento de sistemas mecânicos de controle complexos como o regulador centrífugo para regulação de velocidade das máquinas a vapor, porém os sistemas mecânicos de controle tiveram suas aplicações limitadas devido a seus volumes. Foram substituídos pelas máquinas elétricas, que aumentaram ainda mais as aplicações da automação na indústria. A capacidade de controlar a velocidade e a potência de um motor de corrente contínua (c.c) por uma corrente de controle relativamente baixa no enrolamento do campo possibilitou o desenvolvimento de sistemas de realimentação diversos [TURNER, 1982].

A aplicação de válvulas termoiônicas na década de 1950 resultou em outros desenvolvimentos onde as vantagens foram consideráveis, porém suas aplicações aos processos de larga escala foram limitadas, devido sua fragilidade e altos custos. Devido a estas limitações a automação só poderia ser implantada com custos elevados, tanto de instalação, quanto de manutenção. Este quadro mudou com o surgimento dos semicondutores, seguido pelo uso dos circuitos integrados, o que possibilitou o uso da automação em diversos sistemas [SOUZA, 2008].

A automação implica a implantação de sistemas interligados e assistidos por redes de comunicação, englobando sistemas de supervisórios e interfaces homem-máquina que possam auxiliar os operadores na supervisão e análise de eventuais problemas. A automação na indústria decorre da necessidade de maiores níveis de qualidade, menores custos de trabalho, menores perdas de materiais, menores custos de capital, maior controle das informações do processo, maior qualidade das informações e melhor planejamento e controle de produção. Neste contexto os CLPs (Controladores Lógico-Programáveis), surgidos na década de 1960, tornaram a automação onipresente [MORAES, 2001].

O surgimento dos CLPs representou um enorme avanço da microeletrônica, possibilitando a substituição de painéis enormes e reduzindo o consumo de energia elétrica.

Com o aumento da população e a necessidade de fortalecer a economia através da indústria e a necessidade de produzir bens de consumo cada vez mais e com maior segurança faz com que as empresas e indústrias automatizem cada vez mais os seus processos.

2.2 ROBÓTICA E AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

As características da robótica e da automação industrial estão intimamente relacionadas. Ambas se encontram em constante e acelerado crescimento, graças ao avanço de pesquisas em áreas como eletrônica, mecânica, informática e inteligência artificial

A parte mais visível da automação, atualmente, está ligada à robótica. Os avanços nesta área proporcionam um aumento de produção que impulsiona a indústria. A Robótica é a tecnologia que se preocupa com o desenvolvimento de

robôs ou dispositivos robóticos, e constitui-se numa área multidisciplinar altamente ativa que busca o desenvolvimento e integração de técnicas e algoritmos para a concepção de equipamentos. A robótica busca substituir os seres humanos na execução de algumas tarefas [MECATÔNICA ATUAL, 2013].

A base tecnológica para os atuais robôs industriais foi desenvolvida a partir de pesquisas iniciadas logo após a segunda guerra mundial, quando se foi construído um equipamento chamado de teleoperador-mestre-escravo, empregados em atividades de manipulação de materiais radioativos. O sistema era composto de um manipulador mestre que era comandado por um operador responsável pelas seqüências de movimentos desejados, e um manipulador escravo, capaz de reproduzir os movimentos realizados remotamente pelo mestre [ROMANO, 2002].

O primeiro robô industrial moderno foi desenvolvido por George Devol e Joe Engelberger no final dos anos 50. Engelberger ficou conhecido como o “pai da robótica” após fundar a empresa Unimation Inc. e iniciar a comercialização de robôs industriais [ROMANO, 2002].

Os robôs foram introduzidos inicialmente na indústria automobilística, a partir da década de 60, sendo constituídos de dispositivos manipuladores programáveis e multifuncionais, projetados para manipular materiais e efetuar movimentos controlados de forma a executar tarefas repetitivas ou que exigiam esforços extremos tais como transporte, soldagem e pintura em veículos [MECATRÔNICA ATUAL, 2013].

De acordo com ROMANO (2002), o uso de robôs industriais no chão de fábrica está diretamente associado aos objetivos da produção automatizada, que visa:

- Reduzir custos dos produtos fabricados, através de: diminuição do número de pessoas envolvidas na produção, aumento da quantidade de produtos em um dado período (produtividade), melhor utilização da matéria-prima;
- Melhorar as condições de trabalho do ser humano;
- Melhorar a qualidade do produto, através do controle mais racional dos parâmetros de produção;
- Realizar tarefas impossíveis de serem realizadas manual ou intelectualmente pelos seres humanos, como montagens de peças em miniatura, a coordenação de movimentos complexos e atividades muito velozes.

A norma ISO 10218 define robô industrial como: “uma máquina manipuladora, com vários graus de liberdade, controlada automaticamente, reprogramável, multifuncional, que pode ter base fixa ou móvel para utilização em aplicações de automação industrial” [ROMANO, 2002].

Essencialmente, o robô industrial é composto por quatro partes, são elas uma base fixa, um braço articulado (conhecido também como manipulador do robô), uma unidade de controle (controlador do robô) e um dispositivo de programação [POLONSKII, 1996]. Na Figura 1 é mostrado estas partes essenciais.

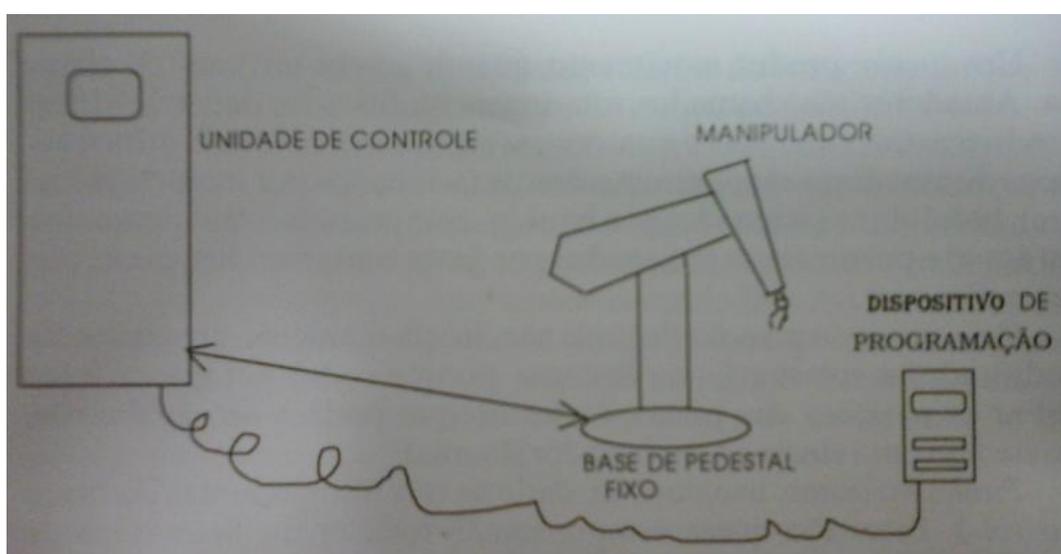


Figura 1 – Partes essenciais de um robô industrial

FONTE: POLONSKII, 1996

A base fixa consiste normalmente de um pedestal preso ao chão, mas que também pode estar presa às paredes ou ao teto ou montada em outra máquina ou mesmo sobre uma plataforma móvel [POLONSKII, 1996].

O manipulador do robô refere-se principalmente ao aspecto mecânico e estrutural do robô. Consiste na combinação de elementos estruturais rígidos (elos), conectados entre si através de articulações (juntas) [ROMANO, 2002]. O braço articulado é formado por várias partes: elos, juntas, atuadores de juntas, sensores de posição de juntas, punho e órgão terminal, onde será vinculado o componente efetuator (garra ou ferramenta) [POLONSKII, 1996].

Na Figura 2 é mostrado um robô industrial da ABB com seis graus de liberdade exemplificando as juntas e os elos. O número de graus de liberdade é o número de movimentos distintos que um robô pode realizar [POLONSKII, 1996].

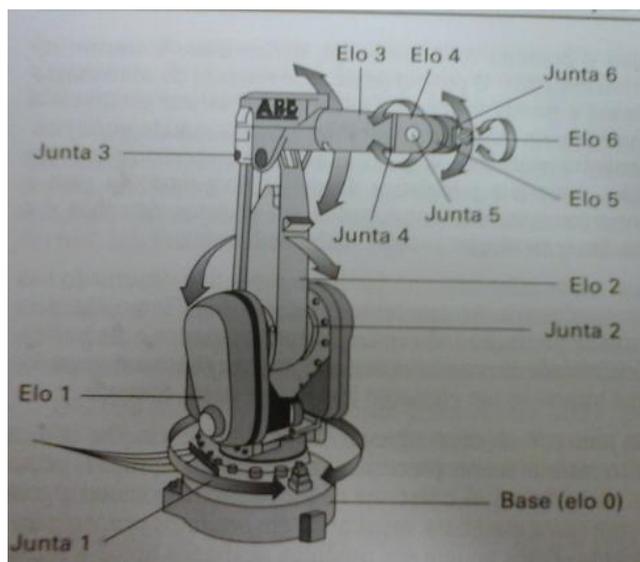


Figura 2 – Robô industrial com seis graus de liberdade

FONTE: ROMANO, 2002

Os atuadores são componentes que convertem energia elétrica, hidráulica ou pneumática em potência mecânica. Através dos sistemas de transmissão, a potência mecânica gerada pelos atuadores é enviada aos elos que se movimentam [ROMANO, 2002]. Os atuadores podem ser rotacionais ou lineares, dependendo se produzem movimento em linha reta ou giratório [POLONSKII, 1996].

Os sensores de posição de junta fornecem parâmetros sobre o comportamento do manipulador, em termos de posição e velocidade dos elos em função do tempo e do modo de interação entre o robô e o ambiente operativo (força, torque, sistema de visão) à unidade de controle. As juntas utilizadas para vincular os elos de um robô são geralmente acopladas a sensores [ROMANO, 2002].

Punho é o nome dado as três últimas juntas do braço do robô, são quase sempre juntas rotacionais e seus eixos de rotação são mutuamente perpendiculares. Os órgãos terminais ou efetadores são classificados como garras ou ferramentas especializadas, os robôs utilizam as garras para mover objetos e as ferramentas especializadas para realizar tarefas específicas [POLONSKII, 1996].

A unidade de controle representa o cérebro do robô. Trata-se de um computador embutido que recebe sinais de saída dos sensores do robô e algumas vezes de outras máquinas [POLONSKII, 1996]. Responde pelo gerenciamento e monitoração dos parâmetros operacionais requeridos para realizar as tarefas do robô. Os comandos de movimentação enviados aos atuadores são originados de

controladores de movimento (CLP, placa controladora de passo) e baseados em informações dos sensores [ROMANO, 2002].

O dispositivo de programação geralmente é um teach-box, um joy-stick ou um teclado, é nele em que é feito a programação dos movimentos do robô. Na figura 3 há um exemplo de um dispositivo de programação.



Figura 3 – Dispositivo de programação para robô ABB

FONTE: Autor, 2015

Hoje os robôs são utilizados nos mais diversos processos de fabricação industrial e apresentam capacidade de executar tarefas com eficiência e precisão. Além disso, eles incorporam dispositivos sensoriais, tornando-se capazes de tomar decisões, executar tarefas com precisão e ainda interagir com o ser humano.

A automação industrial é a área de conhecimento que trata da aplicação de equipamentos e técnicas específicas em uma determinada máquina ou processo industrial com o objetivo de aumentar sua eficiência e/ou reduzir a interação humana no mesmo, automatizando as tarefas repetitivas.

A palavra automation foi inventada pelo marketing da indústria de equipamentos na década de 1960. O neologismo buscava enfatizar a participação do computador no controle automático industrial [MORAES, 2001].

Atualmente, a automação assim como as redes de comunicações, não fica restrita somente ao chão de fábrica do âmbito industrial, ela exige a realização de muitas outras funções. A Figura 4 representa a chamada Pirâmide de Automação, com os diferentes níveis de automação encontrados em uma planta industrial [MORAES, 2001].



Figura 4 - Pirâmide de automação

FONTE: MORAES, 2001

Segundo MORAES (2001), a partir da Figura 4, é possível elucidar uma breve descrição de cada nível:

- **Nível 1:** é o nível das máquinas, dispositivos e componentes (chão de fábrica), onde a automação é realizada pelo controlador programável. Ex.: máquinas de embalagens, linha de montagem.
- **Nível 2:** sua característica é ter algum tipo de supervisão associada ao processo. É onde se encontram as interfaces homem-máquina (IHM) e os concentradores de informações sobre o Nível 1.
- **Nível 3:** Permite o controle do processo produtivo da planta, geralmente é constituído de bancos de dados. São armazenados dados referentes aos processos para utilizá-los como informação útil. Através dessa camada é permitida a supervisão e otimização dos processos. Ethernet, TCP/IP, OPC, DDE e DCOM são as redes de comunicação com o nível posterior.
- **Nível 4:** É o nível responsável pela programação e planejamento da produção realizando o controle e a logística dos suprimentos.
- **Nível 5:** convergindo para pontos específicos, ou seja, integrando uma centralização das informações, encontra-se o gerenciamento corporativo, responsável pela administração dos recursos da empresa. Nessa camada encontram-se os softwares para gestão de vendas e financeira.

A Automação Industrial permitiu a conexão do sistema de supervisão e controle com sistemas corporativos de administração das empresas. Esta conectividade

permite o compartilhamento de dados importantes da operação diária dos processos, contribuindo para uma maior agilidade do processo decisório e maior confiabilidade dos dados que suportam as decisões dentro da empresa para assim melhorar a produtividade.

Dentro da automação industrial, a robótica se insere no Nível 1 da pirâmide, e é essencial para a melhoria da qualidade de produção. Em alguns setores, o uso de robôs nas indústrias é questão de sobrevivência. Afinal, em tempos de globalização, com a concorrência cada vez mais acirrada, e com a queda no preço dos robôs, a sua utilização é bastante vantajosa e garante, na maioria dos casos, um aumento de produtividade com menor custo e maior qualidade. Na Figura 5 tem-se um exemplo da integração da robótica com a automação industrial.



Figura 5 – Exemplo de automação industrial

FONTE: OLIVEIRA, 2012

2.3 REDES

De acordo com SILVA (2010) em seu livro, “Uma rede de computadores pode ser definida como sendo um conjunto de computadores interconectados capazes de compartilhar informações”.

As estações de trabalho (Workstations), que são os PCs (Personal computers) ou outros equipamentos, são interconectadas por cabos ou por modems e canais de comunicação de dados [SOUSA, 2012].

As redes foram criadas para que as workstations pudessem compartilhar impressoras, discos rígidos para armazenamento de dados e, principalmente,

arquivos de dados. Antes da conexão dos computadores em rede, as empresas possuíam computadores independentes com diversas bases de dados espalhadas em duplicidade pela empresa. Isto gerava problemas por nem sempre os dados de duas estações diferentes coincidirem, devido ao fato de que um usuário poderia modificar uma base de dados em uma máquina e outros não, passando a haver divergências [SOUSA, 2012].

Com a interligação dos computadores e a centralização dos arquivos de dados em um PC central chamado de servidor de arquivos, passou a existir uma base de dados única na empresa, com maior segurança na informação. A interconexão dos computadores em rede permitiu ainda, a rápida troca de mensagens eletronicamente entre pessoas dentro de uma empresa [SOUSA, 2012].

As conexões entre redes distantes são feitas através de canais de comunicação que operam por modems e fios da rede pública de telefonia, linhas privadas, conexões por rádios micro-ondas, satélites ou cabos de fibra óptica de longas distâncias [SOUSA, 2012].

As redes de computadores podem ser classificadas de diferentes modos tendo em vista as várias configurações previstas, suas finalidades, características e as distâncias entre os equipamentos [SILVA, 2010].

2.3.1 Rede LAN

A rede tipo LAN (Local Area Network), conhecida como rede local, é composta por computadores interconectados por meio de cabos e placas de redes, possibilitando a troca de informações, programas e recursos [SILVA, 2010, p24]. A rede LAN possui poucos quilômetros de extensão, taxa de transmissão de dados de alguns Mbps e são em geral particulares.

2.3.2 Rede MAN

A MAN (Metropolitan Area Network) é uma rede que atinge distâncias razoáveis, metropolitanas. Essas redes possuem características similares as redes locais, mas operam com velocidades maiores [SILVA, 2010].

2.3.3 Rede WAN

A Rede de área extensa (WAN – Wide Area Network) é aquela que interliga equipamentos entre cidades ou mesmo países diferentes. É composta pelas máquinas dos usuários (host) e por uma sub-rede que interconecta essas máquinas. A sub-rede é composta por roteadores e linhas de transmissão [SILVA, 2010].

2.3.4 Equipamentos básicos de uma rede

Os equipamentos básicos que interligam uma rede são o HUB, o SWITCH, o ROTEADOR e o MODEM.

O hub é um dispositivo que tem a função de interligar os computadores de uma rede local. Sua forma de trabalho é simples, o hub recebe dados vindos de um computador e os transmite às outras máquinas. Quando isto ocorre, nenhum outro computador consegue enviar sinal, sua liberação acontece somente após o sinal anterior ter sido completamente destruído [MELLO, 2006].

O switch é um aparelho muito semelhante ao hub, mas com uma grande diferença, os dados vindos do computador de origem somente são repassados ao computador de destino. Os switches criam uma espécie de canal de comunicação exclusiva entre a origem e o destino e desta forma, a rede não fica "presa" a um único computador no envio de informações. Isso aumenta o desempenho da rede já que a comunicação está sempre disponível, exceto quando dois ou mais computadores tentam enviar dados simultaneamente à mesma máquina. Essa característica também diminui a ocorrência de erros [MELLO, 2006].

O roteador (ou router) é um equipamento utilizado em redes de maior porte. Ele é mais "inteligente" que o switch, pois além de poder fazer a mesma função deste, também tem a capacidade de escolher a melhor rota que um determinado pacote de dados deve seguir para chegar ao seu destino. Por isso o nome de roteador. Existem basicamente dois tipos de roteadores, os Estáticos e Dinâmicos [MELLO, 2006].

O modem é um equipamento que transforma os sinais elétricos digitais que saem do computador em sinais analógicos que podem ser transmitidos a longas distâncias pela rede telefônica pública [SOUSA, 2012].

Na Figura 6 é mostrado imagens ilustrativas de Hub, Switch, Roteador e Modem.

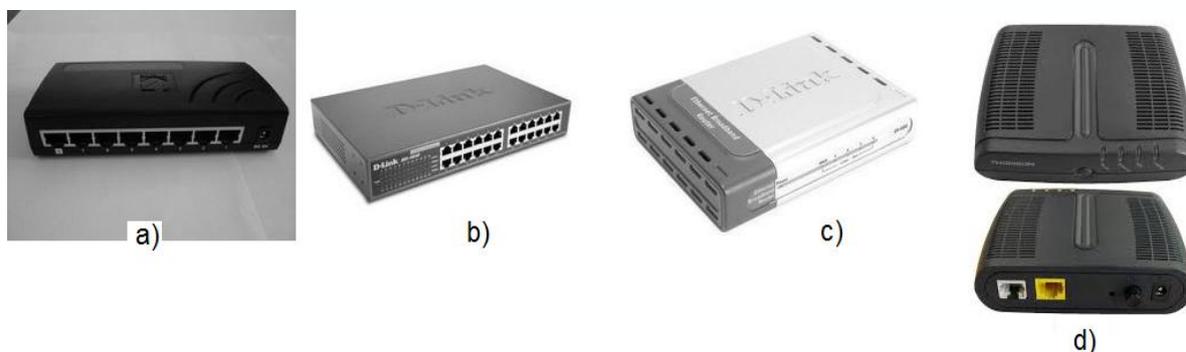


Figura 6 – a) Hub, b) Switch, c) Roteador e d) Modem

FONTE: AUTOR, 2015

2.3.5 Arquitetura de redes

Uma rede de computadores é composta por diversos equipamentos, como PCs, Switches, hubs, cabos entre outros. A rede é dividida em parte lógica (software) e parte física (hardware). A forma como os equipamentos de rede são interligados e interagem chama-se arquitetura de rede. Na conexão física, a arquitetura de rede pode ser ponto a ponto, multiponto, estrela, anel e barramento [SOUSA, 2012].

2.3.5.1 Ponto a Ponto

É a forma mais comum de conexão, na qual dois equipamentos (receptor e transmissor) são interligados e se comunicam através de modems e um canal de comunicação ou por um cabo direto. Neste tipo de ligação, não há o compartilhamento do meio com vários usuários, somente dois pontos se comunicam entre si [SOUSA, 2012].

2.3.5.2 Multiponto

Nesta arquitetura um ponto central pode enviar informações para vários pontos, utilizando um mesmo meio e fazendo derivações ao longo do meio. Este tipo de ligação pode existir em uma arquitetura de redes tipo WAN, em que a informação

parte de uma máquina central por um único meio de transmissão e é distribuída para vários pontos através de endereços lógicos diferentes [SOUSA, 2012].

Na Figura 7 é mostrado o esquema da arquitetura multiponto.

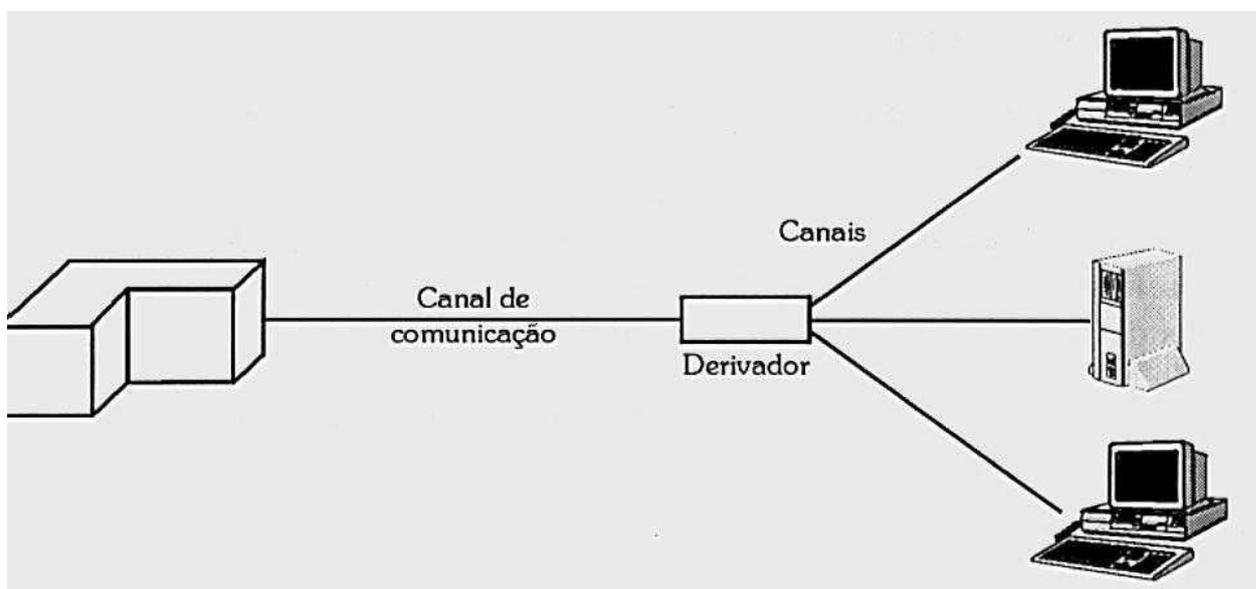


Figura 7 – Arquitetura Multiponto

FONTE: SOUSA, 2012

2.3.5.3 Estrela

Na arquitetura em estrela todos os pontos e equipamentos da rede convergem para um ponto central. Todos os meios de comunicação convergem para um núcleo central. Sistemas de acesso centralizado em mainframes são chamados de multiusuários, onde os terminais acessam para qualquer tipo de consulta ou processamento [SOUSA, 2012]. O nó central é conhecido como mestre e os demais como escravos.

As redes locais podem estar interligadas por um ponto central que pode ser um hub, switch ou roteador. Pelo fato de tudo convergir para um nó central em uma arquitetura estrela, em caso de falha neste ponto central, toda a rede fica prejudicada. Esta arquitetura exige uma quantidade maior de cabos, materiais e infraestrutura para disponibilizar as conexões de todos os equipamentos. Nesta topologia é mais fácil detectar uma falha [SOUSA, 2012].

Na Figura 8 é mostrado o esquema de conexão da arquitetura de rede tipo estrela.

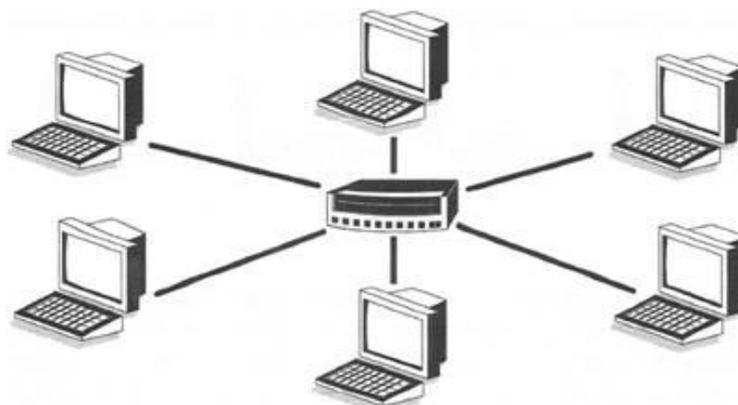


Figura 8 – Arquitetura de Rede Estrela

FONTE: BOAS, 2011

2.3.5.4 Anel

Nesta topologia, os dados circulam em um cabo que conecta todas as estações da rede em formato circular. Os dados passam por todos os nós da rede, até encontrar o nó com o endereço de destino dos dados. O fluxo dos dados é unidirecional, o meio pode ser fisicamente um anel ou o anel pode ser simulado dentro de um hub central que concentra as conexões [SOUSA, 2012].

Nesta arquitetura não existe um nó central, todos os nós estão interconectados. O funcionamento geral depende de cada nó. Na Figura 9 é mostrada a arquitetura de rede do tipo anel.

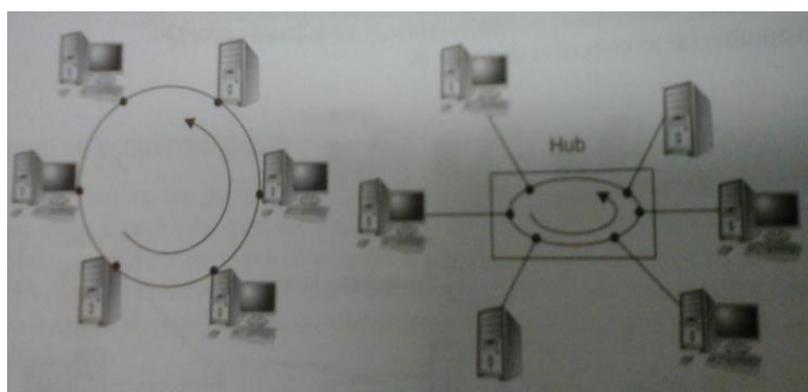


Figura 9 – Arquitetura de Rede tipo Anel

FONTE: SOUSA, 2012

2.3.5.5 Barramento

Esta topologia é a arquitetura comuns das redes Ethernet, inicialmente ligadas

por cabos coaxiais em que os computadores da rede vão sendo conectados ao longo do cabo. Posteriormente passou-se a utilizar cabos de par trançados conectados a hubs e switches que simulam o barramento no qual o sinal elétrico que transporta a informação é difundido ao longo do cabo para todas as estações (computadores) [SOUSA, 2012].

Na Figura 10 é mostrada a arquitetura de rede do tipo barramento.

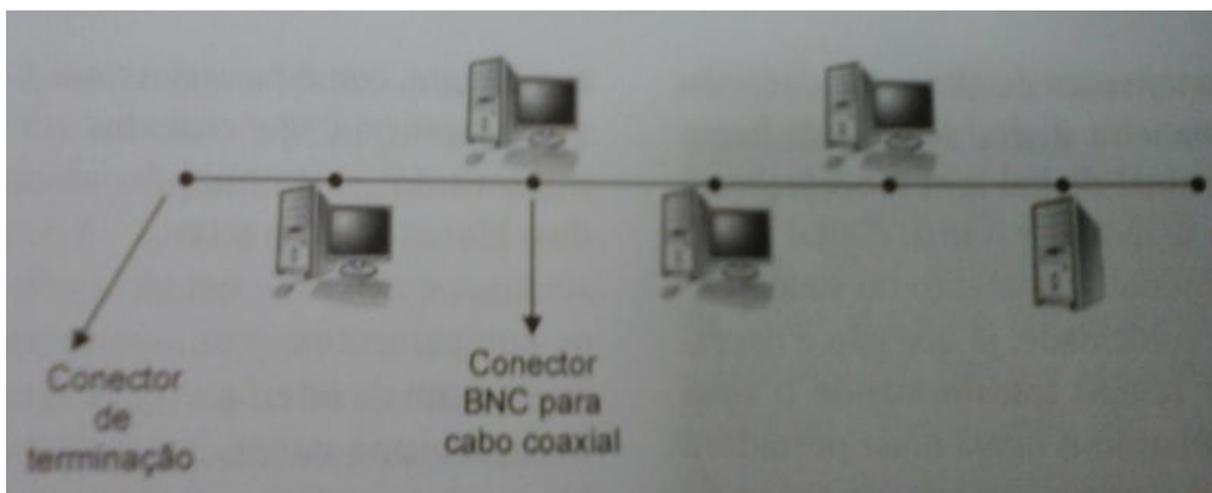


Figura 10 – Arquitetura de Rede tipo Barramento

FONTE: SOUSA, 2012

2.3.5.6 Topologia em árvore

Tipologia física baseada em uma estrutura hierárquica de várias redes e sub-redes. Existem um ou mais concentradores que ligam cada rede local e existe outro concentrador que interliga todos os outros concentradores [SILVA, 2010]. Na Figura 11 é mostrado um exemplo de arquitetura em árvore.

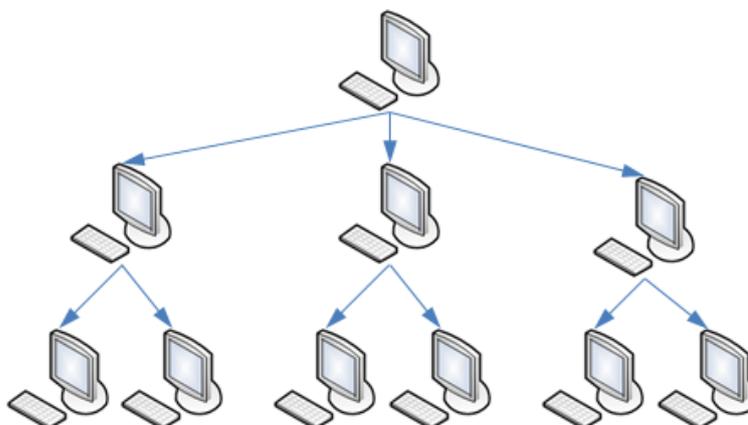


Figura 11 – Arquitetura de Rede tipo Árvore

FONTE: COSTA, 2011

2.3.6 Meios de transmissão

O meio de transmissão é responsável por transmitir ondas eletromagnéticas portadoras de informações ou sinais. Existem, basicamente, três meios utilizados na transmissão de dados, a transmissão por fios ou cabos; transmissão por fibras ópticas e a transmissão por irradiação eletromagnética (ondas de rádio) [SOUSA, 2012].

Na transmissão por fios ou cabos, os dados são transmitidos por sinais elétricos que se propagam pelos condutores metálicos, que são representados pelo par trançado e pelo cabo coaxial [SOUSA, 2012]. As fibras ópticas são constituídas por um guia de ondas cilíndricas composto de dois materiais transparentes, de índices de refração diferentes, a transmissão é feita através de sinal de luz codificado. A transmissão via rádio, satélite e micro ondas utilizam o ar como caminho de passagem [SILVA, 2010].

2.3.7 Protocolos de Comunicação

O protocolo de rede é uma linguagem por meio da qual os dispositivos de uma rede se comunicam. O principal objetivo de um protocolo é gerenciar o envio e o recebimento dos dados durante a transmissão. O protocolo é responsável por dividir os dados que serão transmitidos pela rede em pequenos tamanhos iguais denominados pacotes. Estes pacotes são transmitidos em ordem até o destino e lá são unidos para recompor o arquivo original [SILVA, 2010].

De acordo com MELLO (2006) “Protocolos de comunicação são como regras gramaticais através das quais dispositivos computadorizados comunicam-se entre si, é a maneira pela qual organizam e transmitem sinais binários codificando informação em padrões específicos”.

Para a transmissão de dados estes precisam ser organizados em um quadro de mensagens (protocolo). No início, cada fabricante criava seu próprio protocolo, o que dificultava na integração de aparelhos de diversos fabricantes distintos. Este obstáculo foi superado com iniciativas de órgãos internacionais que buscaram padronizar os protocolos.

Há diversos tipos de protocolos que as redes podem utilizar. Apesar de funcionarem de maneira diferente, os protocolos possuem várias semelhanças, uma

vez que surgiram com o mesmo objetivo, transmissão de dados em uma rede [SILVA, 2010].

Na área de elétrica é interessante mencionar o protocolo IEC 870-5 (Engineering Eleetrotechnical Comite) que define as regras para a comunicação de equipamentos usados na automação de sistemas elétricos [MELLO, 2006].

Um protocolo derivado desta norma IEC 870-5 é o protocolo DNP que define a comunicação de um Sistema Central com uma UAC (Unidade de Aquisição de Dados e Controle). Já a norma IEC 870-6 detalha a comunicação entre centros de controle. Existem também os protocolos, “padrão de mercado”, que por serem altamente difundidos são usados por vários fabricantes. Neste conjunto pode-se citar o TCP-IP usado na Internet, e o MODBUS, dentre outros. Ao utilizar um destes protocolos os fabricantes estão atribuindo aos seus equipamentos grande conectividade o que é altamente desejável pelo usuário.

2.3.8 Camadas de rede ISO, o modelo OSI

O processo de transmissão de dados foi dividido em partes. Cada parte é definida com padrões que permitem a integração dos diversos componentes de uma rede [SOUSA, 2012].

Segundo SOUSA (2012, p47), “A ISO (International Standard Organization) criou o modelo OSI (Open Systems Interconection), que define como cada fase do processo deve proceder na transferência dos dados”.

De acordo com SOUSA (2012), cada camada do modelo oferece serviços à camada anterior. As conexões de uma camada (ou nível) são gerenciadas pelos protocolos que fazem parte da camada. O modelo OSI é definido em sete níveis.

- Nível 7 – Aplicação;
- Nível 6 – Apresentação;
- Nível 5 – Sessão;
- Nível 4 – Transporte;
- Nível 3 – Rede;
- Nível 2 – Enlace;
- Nível 1 – Físico.

A Figura 12 a seguir mostra as sete camadas do modelo OSI e como elas interagem.

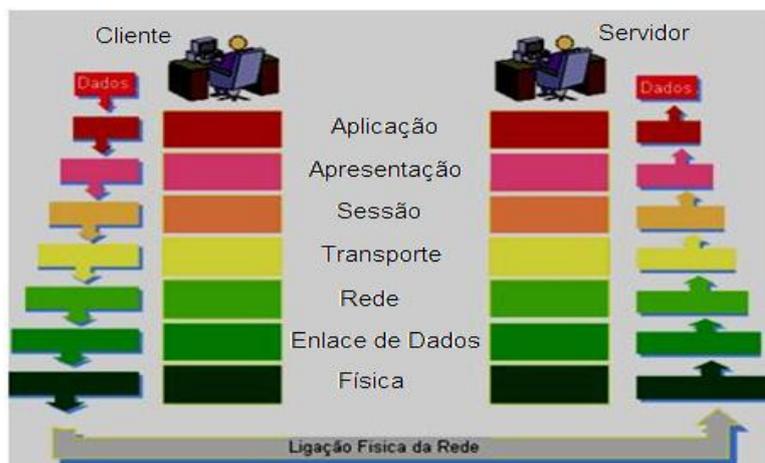


Figura 12 – Camadas do modelo OSI

FONTA: PINHEIRO, 2008

No nível 1 tem-se o modem, no nível 2 o switch e no nível 3 o roteador. Do nível 4 ao 7, as funções são executadas por software.

2.3.8.1 Nível 1 – Físico

O nível 1 é composto pelas conexões mecânicas e elétricas formadas pelos modems, linhas físicas, conectores, cabos e interface de hardware de comunicação dos equipamentos. Neste nível, têm-se as definições dos sinais elétricos, transmissão dos bits, detecção da portadora de transmissão dos dados, entre outros. A unidade de transmissão é o bit representado pelos sinais elétricos. A norma do modelo OSI define características mecânicas, elétricas e de operação [SOUSA, 2012].

2.3.8.2 Nível 2 – Enlace

A camada de enlace situa-se na conexão de dois pontos de uma rede, em que é feita a formatação das mensagens e o endereçamento dos pontos em comunicação. Os bits do nível físico são tratados como blocos de caracteres com endereçamento de origem e destino [SOUSA, 2012].

Nesta camada é feita a correção de eventuais erros de transmissão entre dois pontos, o protocolo desta camada verifica os blocos de transmitidos e recebidos, em

caso de erro, os dados são retransmitidos. Neste nível ocorre também a sincronização lógica entre os pontos em comunicação [SOUSA, 2012].

Segundo SOUSA (2012), em LANs, o protocolo de comunicação deste nível é o CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with collision Detect). Em WANs, este protocolo é o HDLC (High-level Data Link Control).

2.3.8.3 Nível 3 – Rede

Neste nível é feito o controle de todo o tráfego dentro da rede externa, como o roteamento dos dados entre os nós até o endereço final. A camada rede encaminha pacotes, contabiliza e transfere dados para outra rede. A unidade de transmissão é o pacote. Os pacotes de dados são encaminhados pelos nós da rede até atingirem o destino [SOUSA, 2012].

Entre as tarefas desenvolvidas neste nível estão a montagem dos pacotes ou blocos de dados que percorrerão a rede, a correção de falhas de transmissão entre os nós da rede, o controle de fluxo, o roteamento dos dados entre outras funções de controle e endereçamento [SOUSA, 2012].

O nível anterior (de enlace) controla a informação entre os nós e o nível de rede controla a transferência do pacote entre a origem e o destino. A determinação do melhor caminho pode ser feita em um ponto centralizado da rede ou de forma distribuída, onde todos os nós podem calcular o melhor caminho [SOUSA, 2012].

2.3.8.4 Nível 4 – Transporte

Este nível controla a transferência de dados entre os computadores, garantindo a entrega da mensagem (bloco de dados) sem erros e na mesma ordem em que foi enviada, usando os dados fornecidos pela camada de rede. Neste nível são definidas as regras de controle de comunicação fim a fim entre duas pontas finais que se comunicam entre si [SOUSA, 2012].

De acordo com SOUSA (2012), Nesta camada de transporte tem-se:

- A definição e a operacionalização do endereçamento fim a fim;
- Multiplexação e demultiplexação dos dados para distribuir entre vários terminais de uma rede final;

- Tratamento de retardo;
- Controle de fluxo de mensagens entre transmissor e a capacidade de recepção do receptor;
- Controle e retransmissão de mensagens não confirmadas depois de certo tempo.

Essas funções são intrínsecas ao equipamento do usuário final, portanto elas são implementadas no sistema do usuário.

2.3.8.5 Nível 5 – Sessão

A camada sessão é a que estabelece a conexão entre aplicações, definindo como vai ser transcorrida a troca de informações, o modo de transmissão e etc. Este nível é o de conexão entre dois equipamentos de usuários que vão se comunicar. A conexão entre os dois usuários denomina-se sessão, nesta, são conferidas a identificação da conexão entre os dois sistemas, processo também chamado de autenticação do usuário, e a forma de sincronização [SOUSA, 2012]. Essa sincronização permite que a transferência de um arquivo seja reinicializada mesmo que a conexão entre as camadas inferiores tenha sido perdida há horas ou dias [ALBUQUERQUE, 2009].

2.3.8.6 Nível 6 – Apresentação

Após a identificação dos acessos e conexões entre os usuários e os dois sistemas, a camada de apresentação faz a conversão dos códigos, conversão de formatos dos dados recebidos e criptografia para passá-los à camada de aplicação [SOUSA, 2012]. Diferente de camadas anteriores que se preocupavam com a transferência segura dos dados e não com o conteúdo, a camada de apresentação permite a alteração dos dados de acordo com a codificação da máquina, em máquinas diferentes, dados iguais podem significar coisas diferentes [ALBUQUERQUE, 2009].

Este nível é responsável pela conversão de códigos e formatos de representação de dados (**ASCII** – American Standard Code for Information Interchange em **EBDIC** – Extended Binary Coded Decimal Interchanged Code),

compressão e descompressão de dados codificados antes da transmissão e descryptografia e criptografia (protocolo SSL, por exemplo). No caso da criptografia, os dados são codificados na camada de apresentação do transmissor e decodificados na camada de apresentação do receptor [SOUSA, 2012].

2.3.8.7 Nível 7 – Aplicação

A camada de aplicação é a camada que mantém o contato com o usuário, quando houver. Esta camada pode trabalhar com protocolos genéricos ou específicos, ficando a cargo da utilização prática da máquina. Pode cuidar de programas aplicativos do usuário, como banco de dados, protocolos de envio de e-mails, arquivos, aplicações HTTP (HyperText Transfer Control), entre outras [ALBUQUERQUE, 2009].

2.4 REDES INDUSTRIAIS

As redes de campo surgiram pela necessidade de interligar equipamentos usados nos sistemas de automação que operavam de forma independente. A interconexão destes equipamentos em rede permitiu o compartilhamento de recursos e bases de dados. As bases de dados passaram a ser únicas e não mais replicadas, o que tornou as informações mais seguras [ALBUQUERQUE, 2009].

A expansão das redes de comunicação industriais vem exigindo estruturas que garantem segurança na transmissão dos dados e maior velocidade de transmissão. As redes utilizadas em aplicações industriais possuem características próprias a esta aplicação. Modularidade, confiabilidade, interoperabilidade e grande desempenho, são características essenciais [ALBUQUERQUE, 2009].

O computador deve estar sob o controle específico, sendo complexa a definição de sua interface com o sistema de controle, sujeita a modificações e a um crescimento constante, características da modularidade de um sistema. A importância da confiabilidade em sistemas de controle se deve ao fato de que eventuais falhas podem ter conseqüências gravíssimas. O desempenho em sistemas para controle de processos é mensurado em termos de tempo de resposta, a violação das restrições de tempo geralmente se constitui em uma falha [ALBUQUERQUE, 2009].

2.4.1 Fieldbus – Barramento de campo

Em sua primeira idealização, o Fieldbus seria uma rede multiponto digital para conectar dispositivos de campo e controle a longas distâncias por apenas um barramento (dois fios), porém logo que concluída a primeira etapa, notou-se que esta tecnologia era capaz de fazer muito mais.

O Fieldbus, além de ser uma tecnologia feita para economizar cabeamento, é o verdadeiro controle distribuído em que muito mais que distribuir os pontos de entrada e saída (I/O – input/output), permite, em alguns casos, fazer o controle no local da aquisição e atuação dos processos, ou seja, no próprio sensor e atuador. Assim os problemas de comunicação e falhas no equipamento de controle são minimizadas [ALBUQUERQUE, 2009, p.116].

A padronização dos barramentos de campo começou quando diversos fabricantes passaram a adotar o MODBUS, principalmente nos Estados Unidos. Na Europa, o protocolo que se tornou padrão foi o PROFIBUS.

De acordo com ALBUQUERQUE (2009), os protocolos de campo podem ser divididos em três categorias:

- Nível mais baixo – redes de dispositivos simples tais como sensores/atuadores em nível de bit do tipo I/O.
- Nível médio – redes de controladores (comunicação serial entre dispositivos – CLP) de campo.
- Alto nível – redes de controladores (mestres) para controles e instrumentação mais sofisticada (inteligentes).

A busca pela definição de um padrão internacional para padronizar as fieldbuses, levou vários grupos a se unirem. Entre eles a Instrument Society of America (ISA), a International Electrotechnical commission (IEC) e o comitê de padronização do Profibus. Juntos, eles formaram o Comitê IEC/ISA SP50 Fieldbus [LUGLI, 2009].

Como a criação de um padrão internacional demorou muitos anos, em 2000 todas as organizações interessadas convergiram para criar o Fieldbus padrão IEC, denominado IEC 61158 com oito protocolos diferentes [LUGLI, 2009]. A Tabela 1 mostra os oito protocolos conhecidos como “Tipos”.

Tabela 1 – Protocolos FIELDBUS “TIPOS”

TIPO 1	<i>FOUNDATION Fieldbus H1</i>
TIPO 2	<i>ControlNet</i>
TIPO 3	<i>Profibus</i>
TIPO 4	<i>P-Net</i>
TIPO 5	<i>FOUNDATION Fieldbus HSE (High Speed Ethernet)</i>
TIPO 6	<i>Interbus</i>
TIPO 7	<i>SwiftNet</i>
TIPO 8	<i>WorldFIP</i>

FONTE: LUGLI, 2009

Uma vez que estes padrões não conseguiram abranger todas as aplicações das indústrias, posteriormente foi criado a IEC 61784 com uma definição chamada “perfis”. Foram então incluídos vários padrões para diversos protocolos Ethernet. A Tabela 2 a seguir mostra os padrões e protocolos de acordo com a IEC61784.

Tabela 2 – Protocolos FIELDBUS segundo norma IEC 61784

IEC 61784	IEC 61158 - PROTOCOLOS		
	MEIO FISICO	DATA LINK LAYER	
CPF-1/1	TIPO 1	TIPO 1	FOUNDATION FIELDBUS (H1)
CPF-1/2	ETHERNET	TCP/UDP/IP	FOUNDATION FIELDBUS (HSE)
CPF-1/3	TIPO 1	TIPO 1	FOUNDATION FIELDBUS (H2)
CPF-2/1	TIPO 2	TIPO 2	CONTROLNET
CPF-2/2	ETHERNET	TCP/UDP/IP	ETHERNET/IP
CPF-3/1	TIPO 3	TIPO 3	PROFIBUS-DP
CPF-3/2	TIPO 1	TIPO 3	PROFIBUS-PA
CPF-3/3	ETHERNET	TCP/UDP/IP	PROFINET
CPF-4/1	TIPO 4	TIPO 4	P-NET RS-485
CPF-4/1	TIPO 4	TIPO 4	P-NET RS-232
CPF-5/1	TIPO 1	TIPO 7	WORLDFIP(MPS,MCS)
CPF-5/2	TIPO 1	TIPO 7	WORLDFIP(MPS,MCS, SubMMS)
CPF-5/3	TIPO 1	TIPO 7	WORLDFIP(MPS)
CPF-6/1	TIPO 8	TIPO 8	INTERBUS
CPF-6/2	TIPO 8	TIPO 8	INTERBUS TCP/IP
CPF-6/3	TIPO 8	TIPO 8	INTERBUS SUBSET
CPF-7/1	TIPO 6	TIPO 6	SWIFTNET TRANSPORT
CPF-7/2	TIPO 6	TIPO 6	SWIFTNET FULL STACK

FONTE: LUGLI, 2009

2.4.2 MODBUS

O protocolo MODBUS foi desenvolvido pela Modicon Industrial Automation Systems, hoje Schneider, para comunicar um dispositivo mestre com outros dispositivos escravos. Embora seja utilizado normalmente sobre conexões seriais padrão RS-232, ele também pode ser usado como um protocolo da camada de aplicação de redes industriais tais como TCP/IP sobre Ethernet. Este é talvez o protocolo de mais larga utilização em automação industrial, pela sua simplicidade e facilidade de implementação [SOUZA, 1999]

O protocolo MODBUS é baseado em um modelo de comunicação mestre-escravo, onde um único dispositivo, o mestre, pode iniciar transações denominadas queries. Os demais dispositivos da rede (escravos) respondem, suprindo os dados requisitados pelo mestre ou executando uma ação por ele comandada. Geralmente o mestre é um sistema supervisório e os escravos são CLPs. Uma das limitações do Modbus é só possuir envio de informações por integridade, ou seja, uma vez interrogado pelo mestre, todas as informações do mapa de memória são enviadas. Por este motivo é utilizado para quantidades pequenas de informações, da ordem de uma centena. Os papéis de mestre e escravo são fixos, quando se utiliza comunicação serial, mas em outros tipos de rede, um dispositivo pode assumir ambos os papéis, embora não simultaneamente [FILHO, 2007].

2.4.3 PROFIBUS

O PROFIBUS é o principal sistema aberto para Fieldbus na Europa, e possui aceitação universal. As áreas de aplicação incluem o controle de processo na indústria. Com o PROFIBUS, os dispositivos de fabricantes diferentes podem se comunicar sem a necessidade de ajustes especiais.

O Profibus é um protocolo do tipo mestre e escravo em que os controladores são descentralizados e estão ligados em rede no chão de fábrica [ALBUQUERQUE, 2009]. Como um sistema multimestre, o PROFIBUS permite a operação conjunta de equipamentos ou controladores terminais de engenharia ou visualização, com seus respectivos periféricos. Os Dispositivos Mestres determinam a comunicação de dados em um barramento. Essa comunicação é realizada enquanto o dispositivo

mestre possui o direito de acesso ao barramento (*token*). O *token* é um mecanismo de arbitragem que deve ser implementado para evitar possíveis colisões no barramento quando mais de uma estação deseja transmitir uma mensagem [STEMMER, 2001].

Os mestres são chamados de estações ativas no barramento. Já os Dispositivos Escravos são dispositivos de periferia como, válvulas, módulos de I/O, transmissores, entre outros. Esses periféricos não possuem direito de acesso ao barramento, e somente enviam ou reconhecem alguma informação do mestre quando for solicitado [ALBUQUERQUE, 2009].

Na Figura 13 tem-se um exemplo de rede PROFIBUS interligando sensores, motores aos Pc e CLP.

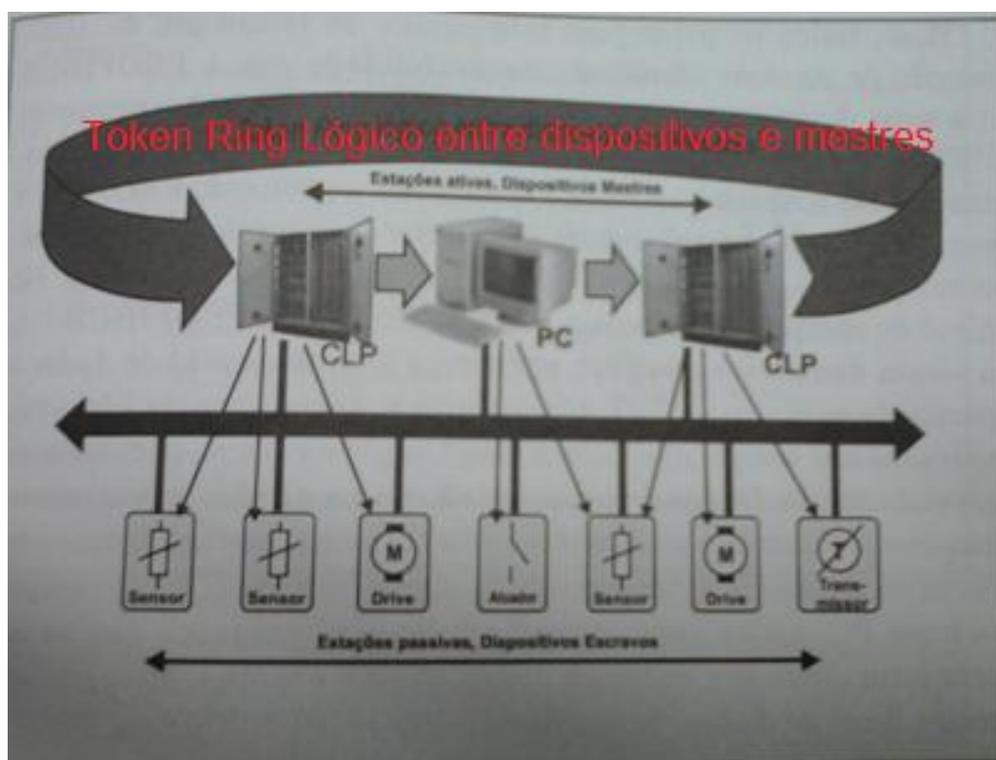


Figura 13 – Exemplo de rede PROFIBUS interligando Sensores e Motores aos PCs e CLPs

FONTES: ALBUQUERQUE, 2009

2.4.3.1 Arquitetura do protocolo

O PROFIBUS é baseado em padrões internacionais, a arquitetura do protocolo é orientada pelo modelo ISO/OSI. O PROFIBUS, em sua arquitetura, está dividido em três variantes principais, PROFIBUS-DP, PROFIBUS-FMS e PROFIBUS-PA.

O PROFIBUS-DP é a solução de alta velocidade do PROFIBUS. Seu desenvolvimento foi otimizado especialmente para comunicações entre os sistemas de automações e equipamentos descentralizados. O PROFIBUS-DP é focado no chão de fábrica e utiliza as camadas 1 e 2 do modelo de referência OSI, além da interface de usuário, esta arquitetura assegura a transmissão de dados de forma rápida e segura [ALBUQUERQUE, 2009].

O PROFIBUS-FMS é a solução de padrão de comunicação universal que pode ser usada para resolver tarefas complexas de comunicação entre CLPs e DCSs (Distributed control system). O PROFIBUS-FMS esta presente principalmente no nível de célula e utiliza as camadas 1, 2, 7, além da interface de usuário. O PROFIBUS-FMS implementa o controle de acesso ao barramento e a segurança da informação [ALBUQUERQUE, 2009].

O PROFIBUS-PA é a solução PROFIBUS que atende os requisitos da automação de processos, onde se tem a conexão de sistemas de automação e sistemas de controle de processo com equipamentos de campo, tais como transmissores de pressão, temperatura, conversores, posicionadores, entre outros. Assim como o PROFIBUS-FMS, o PROFIBUS-PA utiliza as camadas 1, 2 e 7, além da interface de usuário [CASSIOLATO, 2012].

A Figura 14 mostra a arquitetura do protocolo PROFIBUS comparada ao modelo OSI.

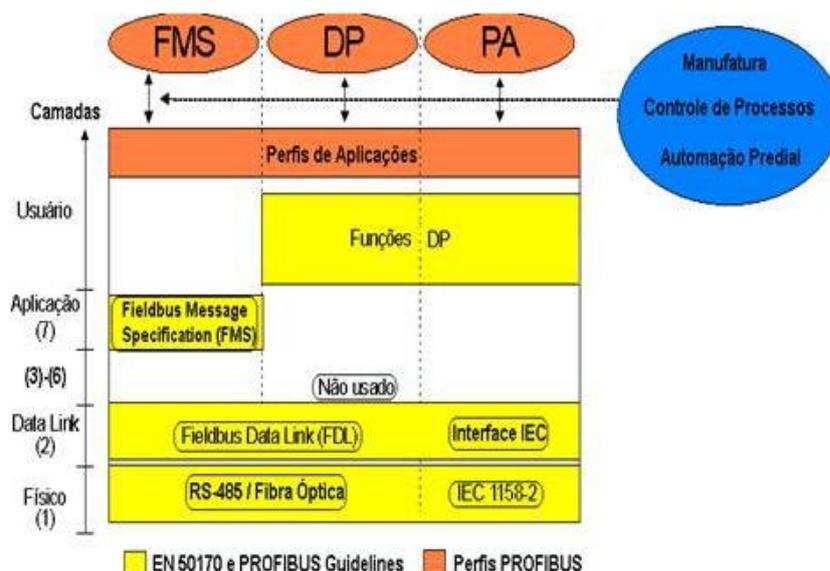


Figura 14 – Arquitetura protocolo PROFIBUS comparada ao modelo OSI

FONTE: CASSIOLATO, 2012

2.4.4 Protocolo TCP/IP

Segundo SILVA (2010) “O protocolo TCP/IP é um conjunto de dois protocolos: o TCP (Transmission Control Protocol) e o IP (Internet Protocol). Como esses dois protocolos são os principais do modelo de referência TCP/IP, o modelo recebeu o nome deles.”.

O Protocolo TCP é o responsável por receber os dados enviados pela camada superior, dividi-los em pacotes e enviá-los para a camada inferior. O protocolo IP é o responsável por receber os dados da camada superior e os roteia pelas redes. O protocolo IP não é orientado a conexão, portanto não garante a entrega dos dados [SILVA, 2010].

O conjunto de protocolos TCP/IP é constituído de cinco camadas: física, enlace de dados, rede, transporte e aplicativo. As quatro primeiras camadas fornecem padrões físicos, interface de rede, interconexão em rede e funções de transporte que correspondem ao modelo OSI. Porém as três camadas superiores do modelo OSI são representadas no modelo TCP/IP por uma única camada, chamada aplicativo [FOROUZAN, 2009]. Na Figura 15 é mostrado as camadas da arquitetura do modelo TCP/IP comparado as camadas do modelo OSI.

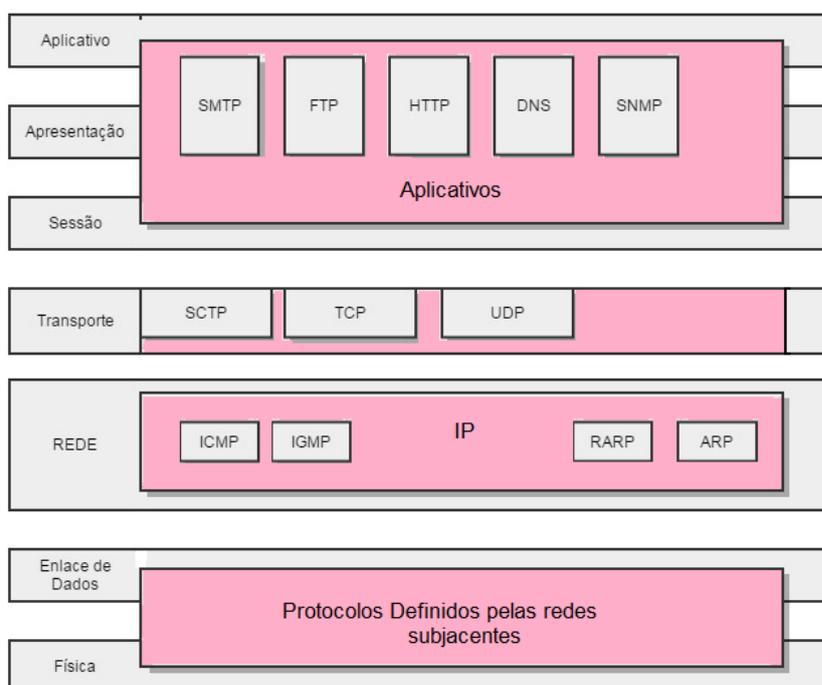


Figura 15 – Arquitetura do modelo TCP/IP comparada ao modelo OSI

FONTE: Adaptada de FOROUZAN, 2009

O protocolo TCP/IP é constituído por módulos interativos, cada um fornecendo uma funcionalidade específica, porém não necessariamente interdependentes.

No nível de enlace de rede (data link e físico), tem-se os protocolos dos níveis 1 e 2 do modelo OSI, que carregam a informação localmente ou entre pontos de uma rede como Ethernet [SOUSA, 2012].

No nível de roteamento (internetwork), tem-se o roteamento dos dados na rede efetuado pelo protocolo IP.

No nível de transporte (serviço), atuam os protocolos TCP e UDP (User Datagram Protocol) que recebem os dados roteados pelo protocolo IP no nível anterior e transmitem para o superior no qual ficam os protocolos de aplicação. O protocolo TCP é responsável pela entrega dos dados ao destino da mesma forma como foram transmitidos pelo receptor. É um protocolo orientado a conexão, o que significa que faz o controle entre a origem e o destino [SOUSA, 2012].

O nível de aplicação equivale às camadas 5, 6 e 7 do modelo OSI. De acordo com SOUSA (2012), como exemplos de protocolos de aplicações existem:

- FTP – File Transfer Protocol;
- SMTP – Simple Mail Transfer Protocol;
- SNMP – Simple Network Management Protocol;
- TELNET – Terminal Emulation;
- NFS – Network File System;
- HTTP – Hyper Text Transfer Protocol.

A larga utilização do protocolo TCP/IP atualmente em relação aos demais, deve-se a sua capacidade de ser roteável, ou seja, ele pode ser utilizado em redes grandes e de longa distância onde há vários caminhos para a informação chegar ao computador receptor [SILVA, 2010].

De acordo com LUGLI (2008), para a aplicação da arquitetura TCP/IP no meio industrial, vários fatores devem ser considerados e analisados, entre eles: Interoperabilidade entre os diversos equipamentos dos diferentes fabricantes; Aumento da quantidade de dados trafegados pela rede e diminuição do tempo de ciclo; Robustez dos equipamentos; Determinismo da rede.

A robustez se refere à temperatura de operação, classe de proteção, segurança intrínseca, umidade relativa do ar, etc. Para transformar a arquitetura em determinística, foi necessário adotar um switch especial com portas independentes

entre si e com capacidade de programar prioridades e tempos de espera das mensagens, pois o protocolo TCP/IP utiliza a técnica CSMA/CD para acessar e controlar o meio de transmissão, porém esta técnica não garante que a informação será transmitida em um tempo determinado e em um ambiente industrial, a espera de um dado, como, por exemplo, um alarme de incêndio ou a detecção de um objeto, pode ser fatal. Deste modo, o switch determina o tempo de varredura para cada porta [LUGLI, 2008].

No começo de sua implementação, a grande desvantagem do padrão TCP/IP na área industrial, era a comunicação e alimentação dos módulos. Havia a necessidade de se ter dois cabos separados para um elemento da rede. Hoje, há vários estudos e implementações utilizando um padrão chamado de Power over Ethernet (Poe). Nesse tipo de comunicação, o canal transmissor e receptor pode trafegar dados simultaneamente no meio de transmissão, utilizando o conceito de modulação em amplitude sobreposto ao nível contínuo de alimentação dos módulos de campo. Com isso o sinal de comunicação sofre modulação na transmissão e no recebimento [LUGLI, 2008].

2.4.5 Ethernet

Segundo COMER (2006), “Ethernet é um nome dado a uma tecnologia LAN de comutação de pacotes desenvolvida pelo Xerox PARC no início da década de 1970.” Ainda segundo COMER (2006) “Em 1978, a Xerox Corporation, a Intel Corporation e a Digital Equipment Corporation padronizaram a Ethernet: o IEEE lançou uma versão compatível do padrão usando o número de padrão 802.3.”

Ethernet tornou-se a tecnologia de LAN mais popular, aparecendo em quase todas as redes corporativas e pessoais. A Ethernet passou a ser empregada inclusive em ambientes hostis como as subestações, com suas altas temperaturas e muitas fontes de ruídos. Isto se deve ao avanço tecnológico da tecnologia Ethernet.

O esquema de fiação original consistia de um cabo coaxial ao qual todos os computadores se conectavam. Esta tecnologia foi substituída pela ETHERNET DE PAR TRANÇADO, pois permite que um computador acesse uma Ethernet usando fios de cobre convencionais não blindados. As principais vantagens do par trançado são a redução dos custos de instalação e maior facilidade de instalação frente ao

cabo coaxial [COMER, 2006]. Atualmente já há equipamentos conectados for fibra ótica.

2.4.5.1 Propriedades de uma Ethernet

A Ethernet foi projetada para ser uma tecnologia de barramento compartilhado (onde todas as estações se conectam a um canal de comunicação único, compartilhado), que suporta broadcast (Todas as estações recebem cada transmissão, tornando possível transmitir um pacote para todas as estações ao mesmo tempo), usa semântica de entrega pelo melhor esforço (best-effort – o hardware não fornece informações ao emissor sobre se o pacote foi entregue) e possui controle de acesso distribuído [COMER, 2006].

O controle de acesso Ethernet é distribuído porque a Ethernet não possui autoridade central para conceder acesso. O esquema de acesso Ethernet é o CSMA/CD. Por causa deste esquema várias máquinas podem acessar uma Ethernet simultaneamente, e cada máquina determina se a rede está ociosa verificando se uma onda portadora está presente. Quando uma interface do host tem um pacote para transmitir, ela realiza uma verificação da presença de portadora (verifica se há mensagem sendo transmitida), se nenhuma transmissão é percebida, a interface do host começa a transmitir. Cada transmissão é limitada em duração, pois existe tamanho máximo de pacote [COMER, 2006].

2.4.5.2 Ethernet industrial – Profinet

A Ethernet industrial surgiu da necessidade de uniformizar o chão de fábrica. Existem diversos fieldbuses em ambientes industriais, como DeviceNet, PROFIBUS, Interbus, entre outros. O que faltava era que estes fieldbuses pudessem ser adaptados a tecnologia Ethernet e que pudessem interagir uns com os outros.

A Profinet é a integração da Ethernet com o PROFIBUS. Sua idéia inicial era de uniformizar toda a cadeia de suprimentos, porém, cada fabricante desenvolveu seu próprio aplicativo e a idéia inicial não foi totalmente implementada, ainda havendo protocolos específicos trabalhando com o TCP/IP, devido aos diferentes tipos de aplicações existentes.

O Profinet é uma das 14 redes padronizadas pela Associação Profibus Internacional como uma das redes de Ethernet industrial. A norma que regulamenta o Profinet é a IEC61158-5 e IEC61158-6.

Basicamente, há dois tipos de redes Profinet: Profinet I/O e Profinet CBA (Component Based Automation). O Profinet I/O é uma extensão do protocolo PROFIBUS-DP. Ele opera diretamente com os elementos de campo, é utilizado em aplicações em tempo real realizando leituras de sensores, atualizações dos sinais de saída e controle de diagnósticos da rede. A rede Ethernet industrial Profinet I/O descreve um modelo de dispositivo que é baseado em características essenciais do PROFIBUS-DP, incluindo canais para cada elemento alocado na rede [LUGLI, 2008]. O Profinet CBA é adequado para comunicação entre máquinas, baseia-se em componentes, trabalha via TCP/IP e destina-se a comunicação em tempo real, em especial em projetos altamente modularizados. Ele possibilita um projeto simples de fábricas e linhas de produção baseado em inteligência distribuída, usando configurações gráficas entre os módulos inteligentes [CASSIOLATO, 2012].

No que tange a arquitetura de rede, o Profinet estruturou suas camadas baseado no modelo de referência OSI, conforme demonstrado na Figura 16.

ISO/OSI		
7b	PROFINET I/O Services PROFINET I/O Protocol	PROFINET CBA acc to IEC 61158 type 10
7a	Connectioness RPC	DCOM Connection oriented RPC
6	Empty	Empty
5		
4	UDP	TCP
3	IP {RFC 791}	
2	Real time Enlancements acc. To IEC 61784-2 IEEE 802-3 full duplex, IEEE .1q	
1	IEEE 802.3 100 Base Tx. 100 Base F x	

Figura 16 – Arquitetura de Rede Profinet I/O e CBA comparado ao modelo OSI

FONTE: adaptada de LUGLI, 2008

Profinet pode ter três formas distintas de operação, a Non-RT (Non-Real Time), a SRT (Soft Real Time) e a IRT (Isochronous Real Time). Sendo duas delas para tempo real e uma para não tempo real.

A arquitetura Non-RT tem seu tempo de processamento próximo de 100ms, sua arquitetura baseia-se na arquitetura TCP/IP pura, utilizando Ethernet na camada um e dois, o IP na camada três e o TCP ou UDP na camada quatro. A SRT caracteriza-se por ser um canal que interliga diretamente a camada da Ethernet à aplicação. Com a eliminação de vários níveis de protocolo, há uma redução no comprimento das mensagens transmitidas, necessitando de menos tempo para transmitir os dados na rede [LUGLI, 2008].

A IRT é utilizada para aplicações em que o tempo de resposta é crítico e deve ser menor do que 1ms. Uma aplicação típica deste conceito é o controle de movimento de robôs, quando o tempo de atualização dos dados deve ser pequeno. Utiliza-se apenas o Profinet I/O para esse caso [LUGLI, 2008].

2.4.6 Devicenet

A rede Devicenet classifica-se como uma rede de dispositivo, ela foi desenvolvida para ter máxima flexibilidade entre equipamentos de campo e interoperabilidade entre diferentes vendedores sendo utilizada para interligação de equipamentos de campo, tais como sensores, atuadores, AC/DC drives e CLPs. Esta rede foi desenvolvida pela Allen Bradley sobre o protocolo CAN (Controller Area Network) e sua especificação é aberta e gerenciada pela Devicenet Foundation. CAN, por sua vez, foi desenvolvida pela empresa Robert Bosh Corp. como uma rede digital para a indústria automobilística [FILHO, 2008].

Hoje existem inúmeros fornecedores de chips CAN: Intel, Motorola, Philips/Signetics, NEC, Hitachi e Siemens.

A rede Devicenet é classificada no nível de rede chamada devicebus, cuja características principais são: alta velocidade, comunicação a nível de byte englobando comunicação com equipamentos discretos e analógicos e alto poder de diagnóstico dos devices da rede [SMAR, 2014].

2.5 TECNOLOGIA OPEN SOURCE

Open Source Software é todo e qualquer software que permita simultaneamente: a sua utilização para qualquer fim e sem restrições a distribuição de cópias sem restrições o acesso ao seu código fonte e o

estudo do seu funcionamento a sua adaptação às necessidades de cada um a possibilidade de disponibilizar a terceiros quaisquer alterações introduzidas [APDSI, 2014, p.3].

Em 1998, foi criado o movimento Open Source Innovation. Fundada por Eric Raymond e Bruce Perens, o objetivo principal da organização era apoiar e promover a criação de softwares livres, ou seja, os softwares com códigos abertos para os utilizadores. O pensamento base para a Open Source Innovation é de que os softwares devem ser julgados por critérios técnicos. Com isso, a sua atuação principal é conferir as licenças que se enquadram nos softwares livres e promover as suas vantagens econômicas e tecnológicas [UNIVERSIA PORTUGAL, 2014].

O conceito de open source (código aberto) baseia-se na premissa de que se o software não faz algo que poderia fazer, então qualquer pessoa com conhecimento em programação poderia incrementá-lo inserindo novas funcionalidades. Baseado nisto, esse tipo de software tende a evoluir muito mais rápido que os softwares proprietários, que dependem de recursos financeiros e de decisões comerciais para ter ou não alguma funcionalidade que os usuários queiram [KOCH, 2008].

Para os projetos open source o desenvolvimento quase sempre é feito de forma colaborativa, programadores e outras pessoas ajudam com o crescimento do software e do projeto, inserindo novas funcionalidades, eliminando erros (bugs) ou até escrevendo documentação como manuais de uso e guias de instalação.

De acordo com a APDSI (2014), um software para ser considerado Open Source não basta disponibilizar o seu código fonte, tem que satisfazer simultaneamente algumas condições baseados no Open Source Innovation, são elas:

- Permitir a sua utilização para qualquer fim e sem restrições
- Permitir a distribuição de cópias sem restrições
- Permitir o estudo do seu funcionamento
- Permitir a sua adaptação às necessidades de cada um
- Permitir a possibilidade de disponibilizar a terceiros quaisquer alterações introduzidas.
- Não discriminação contra pessoas, grupos e áreas de atuação,
- Não restringir outros programas,
- Licença neutra em relação à tecnologia.

Nos últimos anos, um dos maiores sucessos no campo de softwares livres foi o sistema operacional Linux. Através da internet, é possível fazer o download do código fonte do sistema e modificá-lo por inteiro.

Para a maior parte dos utilizadores, para adoção da OSS (Open Source Software) leva-se em conta fatores como a eficiência no uso de recursos, interoperabilidade, independência de um fornecedor específico, segurança, qualidade e eficácia do Software. As vantagens do OSS são o fim de limitações de utilização, independência do fornecedor, liberdade de licenciamento para crescer e possibilidade de partilhar custos de suporte [APDSI, 2014].

Grande parte dos projetos open source são desenvolvidos nas linguagens C e C++. No entanto, esta não é uma regra. Há milhares de projetos livres em Python, Ruby, Perl, PHP e outras linguagens [KOCH, 2008].

Os códigos fontes para desenvolvimento open source são conhecidos como árvores de código, no desenvolvimento de um projeto open source existem os códigos novos, códigos testados e códigos em desenvolvimento, para que não haja confusão entre eles a maioria dos projetos separa os códigos fontes em três unidades diferentes: estável, testes e desenvolvimento [KOCH, 2008]. Na Figura 12 é mostrado o ciclo de desenvolvimento de um projeto open source.

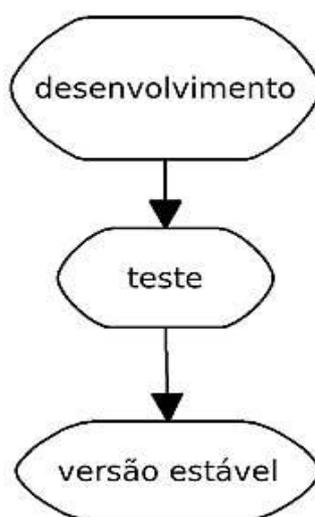


Figura 17 – Ciclo de desenvolvimento de um projeto Open Source

FONTE: KOCH, 2008

A árvore estável contém apenas código fonte de lançamentos. As únicas alterações que ela irá receber são de correções de erros encontrados depois do seu

lançamento. A árvore de testes contém códigos que precisam ser testados e reparados, caso ocorram erros. Correspondem às versões beta e não são totalmente seguras. Devem ser usadas apenas para depuração, garantindo estar livre de bugs na próxima versão estável. A árvore de desenvolvimento contém código mutável. Nela todos os dias são incluídas novas funcionalidades, e não há garantias de que o software irá funcionar, pois a versão baixada uma hora antes pode ser diferente da versão atual, dependendo do fluxo de desenvolvimento do projeto [KOCH, 2008].

Para gerenciar as árvores de código fonte e suas versões, há o VCS (Version Control System), o sistema de controle de versão. Com estes softwares os programadores possuem o controle sobre os arquivos, permitindo que saibam o que foi alterado na estrutura de código em um determinado tempo, por quem e quando. Há dois tipos de VCS: os centralizados como o Subversion, e os descentralizados, como Bazaar, Mercurial e Git. [KOCH, 2008].

Um software estável nunca está livre de erros (Bugs). Há erros que só irão aparecer em determinadas situações e que passaram despercebidos nas rotinas de testes antes do lançamento da última versão. Para isso, a maioria dos projetos open source dispõe de ferramentas que coletam bugs [KOCH, 2008].

Em um projeto open source é necessário conhecer o que já foi desenvolvido, meios de instalar e configurar o software além de guias de normas de programação padronizadas para a colaboração no projeto. Este passo é conhecido como documentação. Ela pode ser desenvolvida na forma de grandes manuais, em HTML, PDF e outros formatos, e ficar disponível para download no website do projeto [KOCH, 2008].

CAPÍTULO III – PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO

Nesta seção são apresentados uma descrição do projeto e suas características de implementação, como sua arquitetura. O trabalho iniciou-se com a pesquisa bibliográfica sobre redes industriais e tecnologia open-source. Foi proposto uma solução para programação em open source utilizando uma placa de Arduino UNO e conexões em Ethernet. À seguir, os detalhes do desenvolvimento do projeto serão descritos, assim como, os meios utilizados para alcançar os objetivos.

3.1 DESCRIÇÃO DO PROJETO

O presente trabalho propõe um sistema de comunicação de baixo custo para a indústria de manufatura utilizando tecnologia open source, o sistema de comunicação segue o padrão Ethernet fazendo uso do protocolo TCP/IP. A Figura 18 apresenta o fluxo de execução para o aceite de uma conexão.



Figura 18 – Solicitação de Serviço

Fonte: AUTOR, 2015

O processo servidor tem um endereço IP e uma porta de serviço conhecidos para que seja possível a utilização do serviço pelos clientes, já o processo cliente pode ser qualquer equipamento conectado a rede de comunicação. A Figura 19 apresenta os elementos do sistema de comunicação e o esquema de ligação destes elementos no projeto.

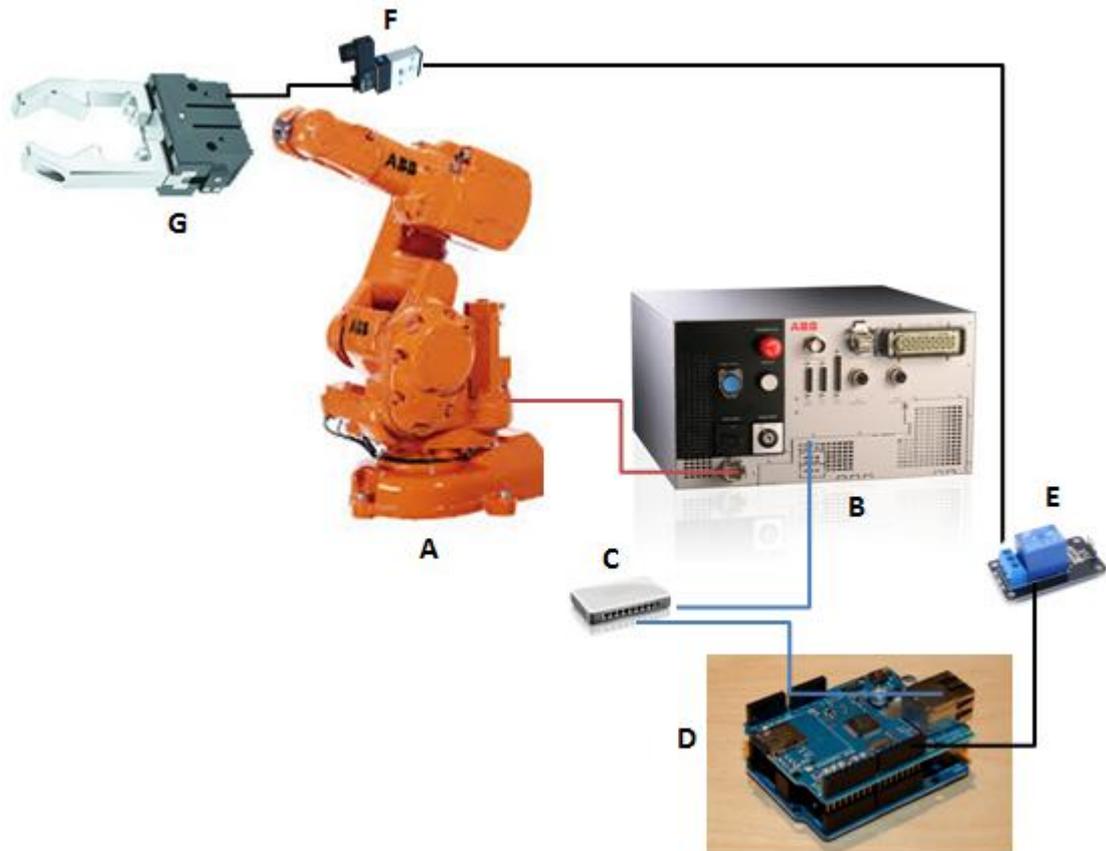


Figura 19 – Esquema de ligação dos elementos utilizados

FONTE: AUTOR, 2015

Para a validação do sistema de comunicação foram utilizados os seguintes elementos, conforme ilustrados na Figura 19:

- A – Manipulador industrial IRB 140 fabricado pela Ansea Brown Boveri (ABB). Ele possui seis eixos, uma capacidade de carga de 6Kg e um alcance máximo de 810mm.
- B – Controlador IRC5 fabricado pela Ansea Brown Boveri (ABB) responsável pelo controle operacional do robô e comunicação com os elementos externos ao robô, através das placas de I/O.
- C – Switch DES-1008A da D-Link, taxa de transmissão: 10Mbps/100Mbps, possui 8 portas com velocidade de até 100Mbps, distância máxima de transmissão de 100m.
- D – Microcontrolador Arduino UNO R3 com Ethernet Shield W5100.
- E – Módulo Relé com 2 Canais 5v;
- F – Válvula Solenóide Festo CPE10-M1BH-3GLS-QS-6;
- G – Garra para manipulação de peças.

Foi implementado um processo *Socket Messaging*, hospedado no controlador do robô desenvolvido em RAPID, conforme figura 20.

```
MODULE MainModule

VAR socketdev socket1;
VAR string received_string;

PROC abrirGarra()
    SocketCreate socket1;
    SocketConnect socket1, "192.168.125.3", 23;
    ? Communication
    SocketSend socket1 \Str:="a";
    SocketClose socket1;
ENDPROC

PROC fecharGarra()
    SocketCreate socket1;
    SocketConnect socket1, "192.168.125.3", 23;
    ? Communication
    SocketSend socket1 \Str:="b";
    SocketClose socket1;
ENDPROC

ENDMODULE
```

Figura 20 – Socket Messaging em RAPID

FONTE: AUTOR, 2015

Esse processo é acionado por uma rotina principal residente no controlador do robô, fazendo uso das funções: `abrirGarra()` ou `fecharGarra()`, o acionamento de uma dessas funções resulta no envio de uma mensagem para o processo residente no componente Microcontroller Arduino UNO R3 com Ethernet Shield W5100 hospedado na porta 23 conforme Figura 21, que por sua vez habilita um sinal de I/O para o Módulo Relé que aciona/desaciona a Válvula Solenóide Festo para abertura ou fechamento da passagem do ar para acionamento da garra do robô.

```
void loop()
{
    EthernetClient client = server.available();
    if (client) {
        char v = client.read();
        Serial.println(v);
        if(v == 'a'){
            digitalWrite(GARRA,LOW);
        }else if(v == 'b'){
            digitalWrite(GARRA,HIGH);
        }
    }
}
```

Figura 21 – Ethernet Client em C

FONTE: AUTOR, 2015

CAPÍTULO IV - AVALIAÇÃO E RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Nesta seção, a metodologia utilizada para a obtenção dos resultados será exposta. Além disso, os resultados para cada tipo de cenário utilizado nos testes da solução proposta serão avaliados.

Baseado na revisão da literatura exposta no capítulo 2 sobre protocolo TCP/IP, rede Ethernet e tecnologias open source, provou-se que é possível substituir um módulo I/O de comunicação por uma interface menos robusta, mais barata e com fácil manuseio. É mostrado na Figura 22 o módulo I/O de comunicação que se busca substituir.



Figura 22 – Módulo I/O de Comunicação

FONTE: AUTOR, 2015

A fim de comprovação de conceito, foi realizada uma programação simples para acionamento da ferramenta do robô (garra, abertura e fechamento). Na Figura 23 a seguir é mostrado o Robô fabricado pela Ansea Brown Boveri (ABB) utilizado no experimento.



Figura 23 - Robô ABB IRB 140

FONTE: AUTOR, 2015

Na Figura 24 é mostrado o Controlador IRC5 fabricado pela ABB responsável pelo controle operacional do robô e comunicação com os elementos externos ao robô, através das placas de I/O, com destaque nas saídas Ethernet e Devicenet.



1 - Conexão DEVICENET

2 - Conexão ETHERNET

Figura 24 – Controlador IRC5 ABB do Robô ABB IRB 140

FONTE: AUTOR, 2015

Como avaliação da solução proposta, os resultados experimentais obtidos corroboram a teoria experimentada. A placa de Arduino UNO R3 comunicada com um Ethernet Shield W5100 e um módulo relé para acionamento, ligada a um Ethernet Switch, Switch DES-1008A, e por fim conectada ao Controlador IRC5 ABB do Robô ABB IRB 140 via Ethernet conseguiu prover um meio de comunicação que permitiu controlar a garra do robô. Utilizando uma programação relativamente simples com comunicação estabelecida via Protocolo TCP/IP que garantiu a entrega

dos pacotes pôde-se abrir e fechar a garra do robô. Na Figura 25 é mostrado os equipamentos utilizados no experimento.

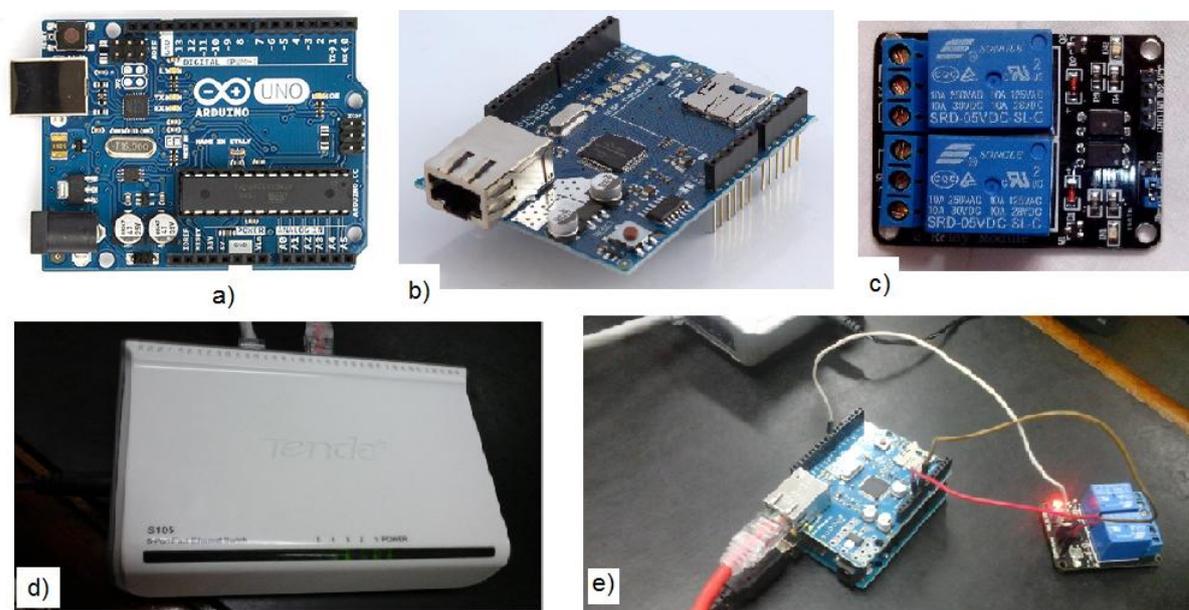


Figura 25 – a) Placa Arduino UNO R3 ; b) Ethernet Shield W5100 ; c) Módulo Relé 2 canais 5V ; d) Switch DES-1008A da D-Link; e) Conexão entre os elementos a), b) e c)

FONTE: AUTOR, 2015

O resultado final do experimento pode ser visto em vídeo disponível no link:

< https://www.youtube.com/watch?v=_2erfAUI_Bs&feature=youtu.be >.

Uma vez que o resultado do experimento comprovou que é possível substituir o módulo I/O por uma placa com tecnologia open source e que os custos dos materiais utilizados no experimento estão em torno de R\$ 150,00, a redução de custo se torna bastante evidente, já que a comunicação em Devicenet é mais cara que a comunicação em Ethernet.

CAPÍTULO V – CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

O projeto de conclusão de curso da especialização propôs elaborar um sistema de comunicação para robô com tecnologia open source a fim de demonstrar a possibilidade de redução de custos na indústria utilizando tecnologias menos robustas e já disponíveis no mercado. O trabalho na área de visão computacional possibilitou ao executor a sua imersão no assunto e continuar os estudos na área de robótica.

A arquitetura proposta para solução do problema foi baseada nos estudos realizados sobre redes industriais e tecnologias open source. O uso de tecnologia open source como solução proposta possibilita uma maior facilidade na programação do software, visto que a tecnologia atual em padrão fechado só pode ser modificada por especialista em uma linguagem específica do fabricante ou em muitos casos não podem ser modificados. Com a tecnologia em padrão aberto, um profissional com conhecimento na área pode programar o software e ajustar para padrões e parâmetros específicos de cada área na indústria.

No projeto de implementação, pensou-se na utilização de hardwares de fácil acesso em relação ao preço e à logística. Dessa forma, utilizou-se um computador pessoal, uma placa Arduino UNO, uma placa Arduino Ethernet Shield, um Ethernet Switch, um módulo relé Arduino e cabos Ethernet. O protocolo de comunicação utilizado foi TCP/IP para garantir a entrega dos pacotes.

Os resultados obtidos com os testes de acionamento da ferramenta do robô ABB IRB 140 demonstraram que a programação utilizada em conjunto com a arquitetura de implementação funcionou corretamente. Para este projeto foi realizada somente uma programação para acionamento da garra, mas o sucesso do programa demonstra que é possível controlar qualquer aspecto deste robô ou de qualquer outro robô, pois o princípio de funcionamento é similar.

O uso de um Ethernet Switch possibilitará conectar outras máquinas, outras plantas e outros robôs em rede Ethernet. A placa Arduino UNO possui 13 saídas digitais que permitiria controlar mais aspectos do robô e da planta, caso seja realizado um sensoriamento completo do robô e da planta.

No que tange a redução de custo, a troca de comunicação do padrão Devicenet por um padrão Ethernet já representa uma significativa redução de custos dada à diferença entre os preços dos materiais, a rapidez e facilidade de instalação do Ethernet e sua a fácil integração nas redes já existentes. Isto economiza tempo e reduz os custos.

Quanto a troca do módulo I/O de comunicação pela tecnologia proposta no presente trabalho, o módulo I/O de comunicação custa em torno de R\$ 5000,00 a R\$ 6000,00 a unidade, enquanto uma placa Arduino UNO custa em torno de R\$ 60,00, uma placa de Arduino Shield Ethernet custa em torno de R\$ 45,00, o switch Ethernet de 5 portas utilizado no experimento custa em torno de R\$ 25,00, o módulo relé 2 canais 5v Arduino possui um custo em torno de R\$ 20,00. O custo dos equipamentos utilizados no experimento foi de R\$ 150,00, o que torna a redução de custo em torno de 97 % para uma máquina. Ao longo de uma planta industrial esta redução torna-se bastante útil.

5.2 CONTRIBUIÇÕES E ATIVIDADES FUTURAS DA PESQUISA

O presente projeto pode contribuir com pesquisas futuras primeiramente quebrando paradigma de que é possível reduzir custos na indústria e que é possível utilizar tecnologias mais simples para substituir tecnologias caras e complexas. Este projeto também provou a eficácia da utilização de tecnologia open source para solução de problemas na área industrial.

Em vista que o projeto desenvolvido demonstrou ser uma boa solução para reduzir custos na indústria e apresentar um meio alternativo de comunicação para robôs, mas apresenta questões a serem resolvidas e aspectos a serem melhorados, sugerem-se como trabalhos futuros:

- Desenvolver um módulo para receber entradas analógicas;
- Desenvolver um módulo para programar todos os parâmetros do robô;
- Promover um sensoriamento completo do robô e da planta para usufruir de mais aspectos positivos da tecnologia empregada;
- Controlar outros robôs para comprovação de conceito;
- Desenvolver uma placa própria para substituir a placa Arduino e promover novas tecnologias.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Redes Industriais: Aplicações em sistemas digitais de controle distribuído**. 2.ed. ver. E ampl. – São Paulo, Ensino Profissional, 2009.

APDSI, Associação para a Promoção e Desenvolvimento da Sociedade da Informação. **Open Source Software**. Disponível em < http://www.algebrica.pt/i_ap/bo2/data/upimages/Estudo_Open_Source_com_capa.pdf > acessado em 20 de Janeiro de 2015

BOAS, Daniel Vilas. **REDES E ESCRITÓRIO DE ENGENHARIA**. Disponível em < <http://vilasboasengenharia.blogspot.com.br/> > acessado em 14 de Janeiro de 2015.

CASSIOLATO, C.; TORRES, L. H. B.; CAMARGO, P. R.. **Profibus – Descrição Técnica**. São Paulo: Associação Profibus Brasil, 2012. Disponível em < www.profibus.org.br > acessado em 20 de Janeiro de 2015.

COMER, Douglas E.. **Interligação de Redes com TCP/IP**. Rio de Janeiro, Elsevier, 2006.

COSTA, Paula. **Introdução a Redes de Computadores**. Disponível em < <https://paulacostati.wordpress.com/> > Acessado em 14 de Janeiro de 2015.

FILHO, Constantino Seixas. **Protocolos Orientados a Caracter**. UFMG – Departamento de Engenharia Eletrônica, 2007, disponível em < <http://www.ppgee.ufmg.br/~seixas/PaginaSDA/Download/DownloadFiles/ProtocolosCaracter.PDF> > acessado em 14 de Janeiro de 2015

FILHO, Constantino Seixas. **Devicenet I**. UFMG – Departamento de Engenharia Eletrônica, 2008, disponível em < http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas/PaginaSDA/Download/DownloadFiles/R2_DeviceNet.pdf > acessado em 14 de Janeiro de 2015

FOROUZAN, Behrouz A.. **Protocolo TCP/IP**. São Paulo, McGraw-Hill, 2009

KOCH, Daniel. **O que é um projeto open source**. How stuff works, 2008. Disponível em <<http://tecnologia.hsw.uol.com.br/projetos-open-source1.htm> > acessado em 20 de Janeiro de 2015.

LUGLI, Alexandre Baratella. **Uma visão do protocolo industrial Profinet e suas aplicações**. Artigo científico, Santa Rita do Sapucaí / MG, 2008. Disponível em < http://www.inatel.br/biblioteca/component/docman/doc_download/3817-uma-visao-dos-protocolos-para-redes-ethernet-industriais-e-suas-aplicacoes > acessado em 20 de Janeiro de 2015

LUGLI, Alexandre Baratella; SANTOS, Max Mauro Dias; FRANCO, Lucia Regina Horta Rodrigues. **Redes Ethernet Industriais: Uma Visão Geral**. Artigo científico, Santa Rita do Sapucaí / MG, 2009. Disponível em < www.inatel.br/biblioteca/component/docman/doc_download/3835-redes-ethernet-

industriais-visao-geral Redes Ethernet Industriais: Uma Visão Geral > Acessado em 20 de Janeiro de 2015.

MECATRÔNICA ATUAL. **Automação Industrial e Robótica**. Editora Saber LTDA, São Paulo/SP, 2013. Disponível em < <http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/1224-automao-industrial-e-robotica> > acessado em 13 de Janeiro de 2015.

MELLO, Nilo Felipe Baptista de. **Automação Digital de Subestações de Energia Elétrica**. Monografia de graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000333.pdf>> acessado em 20 de Dezembro de 2014.

MORAES, Cícero Couto de. **Engenharia de Automação Industrial**. LTC Editora, 2001.

OLIVEIRA, Jair. **HYUNDAI Inaugura Fábrica no Brasil**. 12 de Novembro de 2012. Disponível em < <http://carros.ig.com.br/noticias/hyundai+inaugura+fabrica+no+Brasil/5532.html> > acessado em 20 de dezembro de 2014.

PINHEIRO, José Mauricio Santos. **Chaveamento em Redes de Computadores**. Disponível < http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo_chaveamento_em_redes_de_computadores.php > acessado em 14 de Janeiro de 2015.

POLONKII, Mikhail M.. **Introdução à Robótica e Mecatrônica**. Caxias do Sul / RS, EDUCS, 1996.

ROMANO, Vitor Ferreira. **Robótica Industrial: Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processos**. São Paulo / SP, Editora Edgard Blücher Ltda, 2002.

SILVA, Camila Ceccatto da. **Redes de Computadores – Conceito e Prática**. Santa Cruz do Rio Pardo/SP, Editora Viena, 2010.

SILVEIRA, Paulo Rogério da. **Automação e Controle Discreto**. 5ª Edição, Editora Érica, 2005.

SMAR, Lider em Automação Industrial. **Tutorial DeviceNet**. 2012. Disponível em < <http://www.smar.com/brasil/devicenet> > acessado em 21 de Janeiro de 2015.

SOUSA, Lindenberg Barros de. **Redes de Computadores Guia Total**. 1ª Edição, Editora Érica Ltda, 2012.

SOUZA, Luiz Cláudio Andrade Souza. **Desenvolvimento de um drive padrão OPC para Controlador Lógico Programável, em ambiente Windows NT**. Dissertação de mestrado, UFMG, 1999

STEMMER, M. R.. **Sistemas Distribuídos e Redes de Computadores para Controle e Automação Industrial**. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

TURNER, L.W. **Electronics Engineer's Reference Book**. London, Ed. Hemus, 4 th edition, 1982.

UNIVERSIA PORTUGAL. **Saiba o que é o open source e conheça a sua importância**. Portugal, 2014. Disponível em < <http://noticias.universia.pt/destaque/noticia/2014/04/07/1093964/saiba-e-open-source-e-conheca-sua-importancia.html> > acessado em 20 de Janeiro de 2015.

APÊNDICES

APÊNDICE A – CÓDIGOS IMPLANTADOS SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

```
#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>

// network configuration. gateway and subnet are optional.

// the media access control (ethernet hardware) address for the shield:
byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
//the IP address for the shield:
byte ip[] = { 192, 168, 125, 3 };
// the router's gateway address:
byte gateway[] = { 192, 168, 125, 1 };
// the subnet:
byte subnet[] = { 255, 255, 255, 0 };

// telnet defaults to port 23
EthernetServer server = EthernetServer(23);
const int GARRA = 8;
int valor;

void setup()
{
  // initialize the ethernet device
  Ethernet.begin(mac, ip, gateway, subnet);
  valor = 0;
  pinMode(GARRA,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  // start listening for clients
  server.begin();
}

void loop()
{
```

```
EthernetClient client = server.available();  
if (client) {  
  char v = client.read();  
  Serial.println(v);  
  if(v == 'a'){  
    digitalWrite(GARRA,LOW);  
  }else if(v == 'b'){  
    digitalWrite(GARRA,HIGH);  
  }  
}  
}
```

APÊNDICE B – CÓDIGOS IMPLANTADOS EM RAPID NO CONTROLADOR DO ROBÔ

```
MODULE MainModule
```

```
VAR socketdev socket1;
```

```
VAR string received_string;
```

```
PROC abrirGarra()
```

```
    SocketCreate socket1;
```

```
    SocketConnect socket1, "192.168.125.3", 23;
```

```
    ! Communication
```

```
    SocketSend socket1 \Str:="a";
```

```
    SocketClose socket1;
```

```
ENDPROC
```

```
PROC fecharGarra()
```

```
    SocketCreate socket1;
```

```
    SocketConnect socket1, "192.168.125.3", 23;
```

```
    ! Communication
```

```
    SocketSend socket1 \Str:="b";
```

```
    SocketClose socket1;
```

```
ENDPROC
```

```
ENDMODULE
```