



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO - CECAU



JOSÉ AUGUSTO FERNANDES CORDEIRO

ESTUDO DOS PRINCIPAIS PROTOCOLOS DE REDES
INDUSTRIAIS UTILIZADAS NO BRASIL: AS-I, MODBUS E PROFIBUS

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Dezembro, 2019

JOSÉ AUGUSTO FERNANDES CORDEIRO

**ESTUDO DOS PRINCIPAIS PROTOCOLOS DE REDES
INDUSTRIAIS UTILIZADAS NO BRASIL: AS-I, MODBUS E PROFIBUS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Karla Boaventura
Pimenta Palmieri

**Ouro Preto
Escola de Minas – UFOP
Dezembro/2019**

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C794e Cordeiro, Jose Augusto Fernandes .
Estudo dos principais protocolos de redes industriais utilizadas no Brasil
[manuscrito]: AS-I, MODBUS E PROFIBUS. / Jose Augusto Fernandes Cordeiro. -
2019.
42 f.

Orientadora: Profa. Dra. Karla Boaventura Pimenta Palmieri.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de
Minas.

1. Rede de computador - Protocolos - AS-I. 2. Rede de computador - Protocolos
- MODBUS. 3. Rede de computador - Protocolos - PROFIBUS. 4. Empresas -
Redes de computadores. I. Palmieri, Karla Boaventura Pimenta. II. Universidade
Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 338.48

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB:1716

Monografia intitulada **ESTUDO DOS PRINCIPAIS PROTOCOLOS DE REDES INDUSTRIAIS UTILIZADAS NO BRASIL: AS-I, MODBUS E PROFIBUS** defendida e aprovada, em 11 de Dezembro de 2019, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Profa. Dra. Karla Boaventura Pimenta Palmieri – Orientadora



BSc Fernando dos Santos Alves Fernandes – Convidado



Prof. Engenheiro Gradimilo Cândido de Jesus – Convidado

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Karla, pelo incentivo e orientação neste trabalho.

Aos professores do curso de engenharia de controle e Automação por suas importantes contribuições para o aprimoramento do trabalho.

A vida republicana de Ouro Preto, em especial minha querida casa a republica Academia da cachaça, lugar de grandes experiências de vida.

A empresa TSA Engenharia pela oportunidade de estagio e de aprender na pratica os conceitos aprendidos na universidade.

Aos irmãos republicanos, guerreiros que estiveram do meu lado em todos os momentos.

RESUMO

Com o fim da era industrial e o início da era da informação, o aumento da utilização de redes industriais pode ser notado na década 2010. São quatro os níveis atuais de automação que vão desde os equipamentos de instrumentação até a parte gerencial. No cenário brasileiro existem três tipos de redes industriais majoritariamente utilizados: a rede AS-I (Actuator Sensor-Interface), a rede MODBUS e a rede PROFIBUS. A AS-I é uma rede criada com o intuito de fazer a comunicação do chão de fábrica, proposta por um consórcio de empresas em 1990. A rede MODBUS, criado na década de 1970 pela Modicon. O PROFIBUS (PROcess FIeldBUS) é um protocolo aberto de rede de comunicação industrial que facilita a iteração entre dispositivos de fabricantes diversos. A implementação de sistemas de controle tradicionais atualmente implica em custos e complexidades desnecessários, daí a importância de conhecer e empregar o conceito de redes industriais aumenta confiabilidade do processo, reduzindo custos e diminuindo a complexidade.

Palavras-chave: AS-I, MODBUS, PROFIBUS, rede industrial.

ABSTRACT

With the end of the industrial age and the beginning of the digital age, the increased use of industrial networks can be seen in the 2010s. There are four current levels of automation ranging from instrumentation equipment to a managerial part. In the Brazilian scenario there are three types of industrial networks mainly used: the AS-I network (actuator sensor interface), the MODBUS network and the PROFIBUS network. AS-I is a network created for the purpose of factory floor communication, proposed by a consortium of companies in 1990. The MODBUS network, created in the 1970s by Modicon. PROFIBUS (PROCESS FieldBUS) is an open industrial communication network protocol that facilitates iteration between devices from various manufacturers. The implementation of traditional control systems currently entails unnecessary costs and complexities and employing or the concept of industrial networks increases process usage, cost usage and decreased complexity.

Keywords: AS-I, MODBUS, PROFIBUS, industrial network.

LISTA DE ABREVIATURAS

AS-I - Actuator Sensor-Interface

ON/OFF – Liga/Desliga

CLP – Controlador lógico programável

I/O – Entrada/Saída

PC – Placa de controle

EIA-485 – Electronic Industries Alliance-485

ASCII – American Standard Code for Information Interchange

RTU - Remote Terminal Uni

DP - Periferia descentralizada

PA - Automação de processos

OZD – conversor eletro-óptico

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1 – Classificação de redes Industriais..... | 13 |
| Figura 2.1 – Evolução do protocolo AS-Interface | 15 |
| Figura 2.2 – Conexão da rede PROFIBUS com diversos níveis de automação | 17 |
| Figura 3.1 – Ciclo de operação do sistema AS-I..... | 18 |
| Figura 3.2 – Diagrama de Blocos do microcontrolador | 20 |
| Figura 3.3 – Topologias típicas da rede AS-I..... | 22 |
| Figura 3.4 – Topologia típica da rede MODBUS | 26 |
| Figura 3.5 – Versões da rede PROFIBUS-DP..... | 28 |
| Figura 3.6 – Repetidor da rede do sistema PROFIBUS. | 30 |
| Figura 3.7 – Terminador ativo do sistema PROFIBUS | 32 |
| Figura 3.8 – Conversor eletro-óptico do sistema PROFIBUS..... | 32 |
| Figura 3.9 – Conector de rede PROFIBUS. | 33 |
| Figura 3.10a - Topologia em estrela da rede PROFIBUS..... | 34 |
| Figura 3.10b – Topologia em barramento da rede PROFIBUS..... | 34 |
| Figura 3.10c – Topologia ponto a ponto da rede PROFIBUS..... | 35 |
| Figura 4.1 – Redes configuradas em MODBUS. | 36 |
| Figura 4.2 – Redes PROFIBUS amplificada..... | 37 |
| Figura 4.3 – Criação de uma rede PROFIBUS-PA | 37 |
| Figura 4.4 – Rede AS-I barramento..... | 38 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 3.1 – Relação de transmissão e distancia da rede PA | 30 |
| Tabela 2.2 – Relação de transmissão e distancia da rede PA | 30 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 1.1 | Formulação do Problema | 13 |
| 1.2 | Justificativa | 13 |
| 1.3 | Objetivo Geral..... | 14 |
| 1.4 | Objetivos Específicos | 14 |
| 1.5 | Estrutura do Trabalho | 14 |
| 2 | REVISÃO DA LITERATURA | 15 |
| 2.1 | Histórico da Rede AS-Interface..... | 15 |
| 2.2 | Histórico da Rede MODBUS | 16 |
| 2.3 | Histórico da Rede PROFIBUS | 16 |
| 3 | DESENVOLVIMENTO | 18 |
| 3.1 | Caraterísticas da rede AS-Interface | 19 |
| 3.2 | O mestre e o escravo da rede AS-Interface..... | 20 |
| 3.3 | Características elétricas da rede AS-Interface | 21 |
| 3.4 | Arquitetura de possíveis redes para a AS-interface | 21 |
| 3.5 | Características elétricas da rede MODBUS | 23 |
| 3.6 | Modos de transmissão da rede MODBUS | 26 |
| 3.7 | Arquitetura de possíveis redes para o MODBUS. | 26 |
| 3.8 | Características da PROFIBUS-DP..... | 27 |
| 3.9 | Características da PROFIBUS-PA..... | 28 |
| 3.10 | Meio Físico da PROFIBUS | 29 |
| 3.11 | Componentes da rede PROFIBUS..... | 31 |
| 3.12 | Arquitetura de possíveis redes para o PROFIBUS. | 33 |
| 4 | APLICAÇÕES PRÁTICAS DAS REDES INDUSTRIAIS | 36 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 39 |
| 6 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA | 40 |

1 INTRODUÇÃO

O uso da automação em processos industriais está em expansão desde a década de 2010 e nesse cenário as redes industriais são de suma importância para evolução das técnicas de comunicação, pois, são responsáveis por tratar as informações de forma ordenada, seguindo um padrão estabelecido e garantindo a segurança dos dados.

Com a popularização das redes industriais no Brasil, resultados mais econômicos e eficientes têm sido encontrados quando comparados ao sistema ponto a ponto, sistema este com alto custo de implementação e de difícil resolução de problemas operacionais.

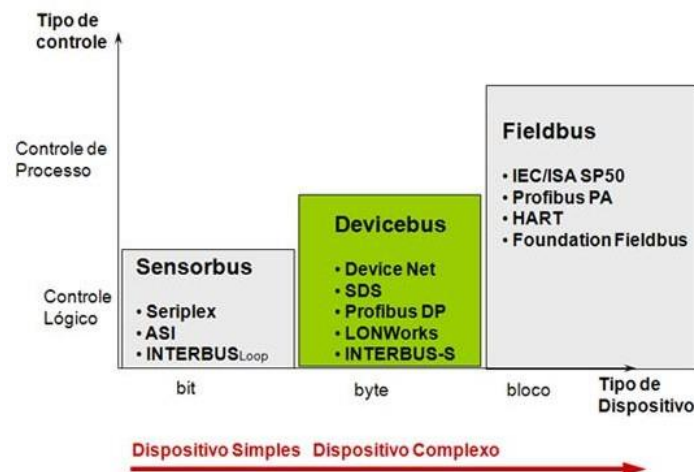
As redes industriais atualmente são divididas em quatro níveis: o nível 0, responsável pela interligação dos sistemas de controle aos equipamentos de processos; o nível 1, que reúne vários sistemas de controle em uma estação de operação; o nível 2, que trata da produção; e por fim, o nível 3, responsável pela parte gerencial (Cassiolato, 2012).

De acordo com Lugli e Santos (2010), a rápida evolução da eletrônica e da engenharia de software, além da miniaturização de componentes e peças são os principais fatores e os meios para o desenvolvimento dos sistemas de automação distribuídos com redes de campo industriais. Dessa maneira, componentes com alto desempenho, tais como microprocessadores, microcontroladores, memórias e sensores têm sido fabricados a um custo suficientemente baixo para possibilitar a criação de dispositivos autônomos inteligentes.

Com o objetivo principal da interoperabilidade e flexibilidade de operação, grupos de desenvolvedores definem normas de padrão aberto para o desenvolvimento de redes de campo por todos os interessados. Com isso todos ganham. Os desenvolvedores têm a flexibilidade de desenvolvimento de linhas de produtos em função da demanda, e o cliente não fica totalmente preso a apenas um fornecedor (Lugli e Santos, 2010).

Cada tipo de rede possui suas características e necessidades próprias, as redes consideradas de chão de fábrica (FieldBus), são classificadas de acordo com a quantidade de informação como pode ser observado na Figura 1.1.

Figura 1.1 – Classificação de redes Industriais



Fonte: Adaptado de Lugli e Santos, 2010.

Neste trabalho serão abordados três tipos de redes industriais: a rede AS-I (Actuator Sensor-Interface), a rede MODBUS e a rede PROFIBUS, responsáveis pela maioria das aplicações industriais no cenário brasileiro de automação de processos.

1.1 Formulação do problema

Devido à necessidade de melhoria contínua nos processos industriais, criou-se uma grande demanda para o setor de automação onde as redes industriais podem ser uma peça fundamental. Nessa situação, o desafio é criar uma solução segura, economicamente viável e que traga melhora considerável ao processo, respeitando as normas, protocolos e controles de qualidades vigentes.

1.2 Justificativa

O mercado de instrumentação e automação industrial demanda equipamentos com alto desempenho, confiabilidade, disponibilidade, recursividade, entre outros, com o intuito de reduzir o consumo, diminuir a variabilidade dos processos, proporcionar a minimização de custos de operação e de manutenção, assim como garantir a otimização e melhoria contínua dos processos. Nesse sentido, a evolução das tecnologias e a concretização das redes industriais podem fazer com que os sistemas de controle e automação, equipamentos, controladores, entre outros, desempenhem funções antes inimagináveis. Portanto, esta monografia visa um estudo aprofundado sobre as redes mais usadas na área industrial, para auxiliar os colegas de curso em

futuros estudos sobre o assunto, além de estimular o desenvolvimento de novas tecnologias voltadas para a automação industrial.

1.3 Objetivo Geral

Revisar a literatura acerca dos sistemas de redes industriais a fim de ampliar seus conceitos no meio acadêmico, entender as necessidades na área de automação de processos da indústria atual e criar uma visão crítica sobre custos econômicos em projetos da área.

1.4 Objetivos Específicos

Fazer o detalhamento técnico das redes industriais AS-I (Actuator Sensor-Interface), MODBUS e PROFIBUS, com a criação de uma arquitetura típica para cada tipo de rede mencionada.

Apresentar o histórico de criação dessas redes, protocolos utilizados pelas mesmas, capacidade de transmissão de dados, limitações físicas, onde aplicá-las e custos econômicos envolvidos.

1.5 Estrutura do Trabalho

No capítulo 1 é apresentado a introdução, o objetivo e justificativa deste trabalho.

No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica onde serão abordados os seguintes temas:

- A rede AS-I (Actuator Sensor-Interface);
- A rede MODBUS;
- A rede PROFIBUS.

No capítulo 3, o detalhamento das redes citadas anteriormente.

Por fim, o capítulo 4, apresenta as conclusões e perspectivas de trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Histórico da Rede AS-Interface

A rede industrial AS-Interface foi desenvolvida por meio de um consórcio de empresas formado em 1990 por: Balluff, Baumer, Elesta, Festo, IFM Electronic, Leuze Electronic, Pepperl+Fuchs, Sick, Siemens, Turck e Visolux. O consórcio foi formado com objetivo de criar uma rede que fizesse com eficiência a comunicação de chão de fábrica (Victorino, 2017). A cronologia dos acontecimentos referentes à evolução do protocolo AS – Interface apresenta-se na Figura 2.1.

Figura 2.1 – Evolução do protocolo AS-Interface



Fonte: Adaptado de Lugli e Santos, 2010.

O sistema AS – I é classificado como Sensorbus e oferece muitos benefícios entre as redes industriais com baixo custo e facilidade de instalação. Esse sistema é baseado em tecnologia digital e é otimizado para dispositivos binários. Sensores e atuadores convencionais podem ser integrados facilmente ao sistema, resultando em uma solução de rede com grande flexibilidade e funcionalidade (Regazzi et al., 2005).

2.2 Histórico da Rede MODBUS

A rede MODBUS pode ser definida como um protocolo de comunicação de dados utilizado em sistemas de automação industrial criado originalmente no final da década de 1970 pela fabricante de equipamentos Modicon. É um dos mais antigos e mais utilizados protocolos em redes de controladores lógicos programáveis (CLP) para aquisição de sinais de instrumentos e comandar atuadores. A Schneider Electric (atual controladora da Modicon) transferiu os direitos do protocolo para a Modbus Organization (Organização Modbus) em 2004 e a utilização é livre de taxas de licenciamento. Por esta razão, e também por se adequar facilmente a diversos meios físicos, é utilizado em milhares de equipamentos existentes e é uma das soluções de rede mais baratas a serem utilizadas em Automação Industrial (ModBus, 2015).

O protocolo da MODBUS é aberto, padronizado, com comunicação em tempo real de grande quantidade de dados, de baixo custo e tem sido amplamente utilizado em CLPs, controladores, drivers de acionamentos e instrumentos. Essa rede suporta meio físico através de padrão RS-232, RS-422, RS-485 e Ethernet. A troca de mensagens é do tipo Mestre-Escravo, ou seja, o dispositivo mestre envia uma solicitação para o escravo que responde (ModBus, 2015). Qualquer esforço para coletar os dados de máquinas do chão de fábrica deve prever o suporte a protocolos de comunicação, visando facilitar a troca de dados com estes equipamentos.

2.3 Histórico da Rede PROFIBUS

O PROFIBUS (PROcess FieldBUS) é um protocolo aberto de rede de comunicação industrial, utilizado em uma grande variedade de aplicações em automação da manufatura e de processos. Com o PROFIBUS, dispositivos de diversos fabricantes podem estabelecer comunicação sem qualquer ajuste especial na interface. A padronização do protocolo e a independência de fabricantes são garantidas pelas normas EN 50170 e EM 50254 (Lugli e Santos, 2010).

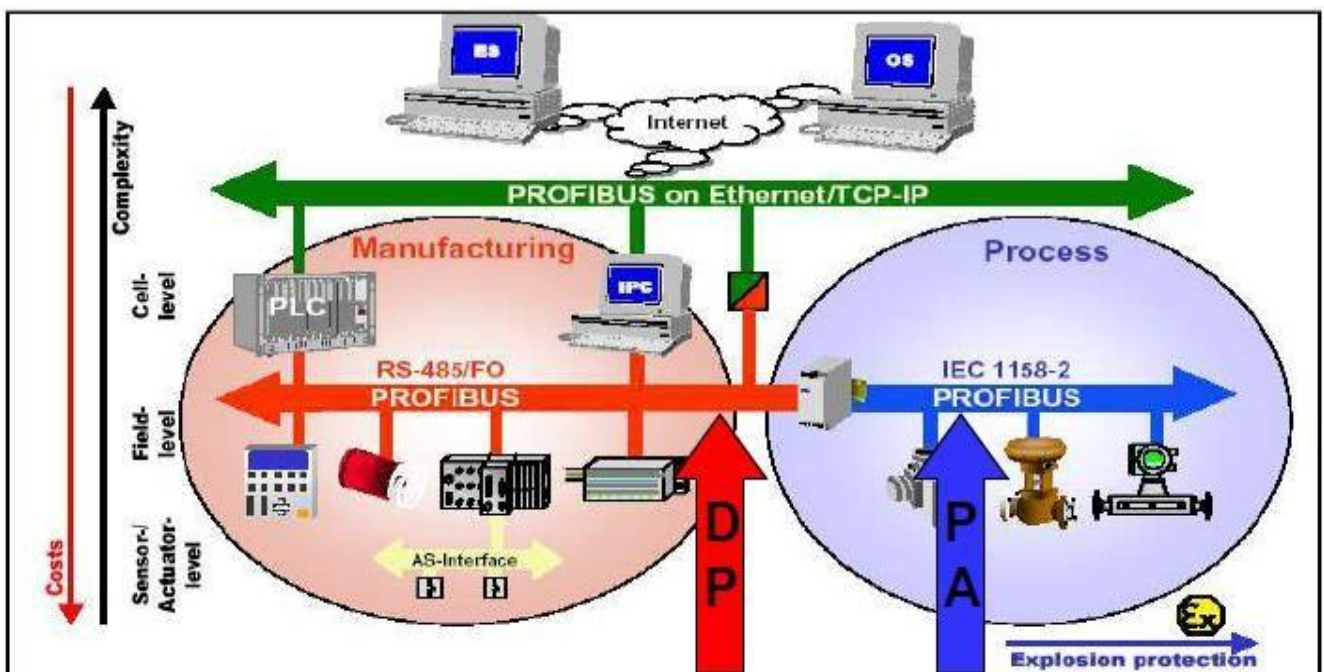
O desenvolvimento da rede PROFIBUS iniciou-se em 1987 na Alemanha, onde as empresas que constituíam a Associação Central de Indústria Elétrica ZVEI, criaram um projeto relacionado ao Fieldebus que tinha como objetivo elaborar um conceito único para automação de processos de chão de fábrica. A conclusão da PROFIBUS ocorreu já em 1993, trazendo os

conceitos de periferia descentralizada e de alta velocidade de comunicação entre os sistemas de automação e os dispositivos de campo. A rede apresentou-se como excelente opção para substituir os sistemas tradicionais, como por exemplo, a transmissão 4 a 20 mA (Cassiolo, 2012).

De acordo com Lugli e Santos (2010), O PROFIBUS pode ser utilizado tanto em aplicações com transmissão de informações em alta velocidade como em tarefas complexas e extensas de comunicação. Essa rede possui dois tipos de protocolos distintos, sendo PROFIBUS-DP (Decentralized Periphery) e o PROFIBUS-PA (Process Automation). De acordo com a aplicação, pode-se utilizar como meio de transmissão qualquer um dos seguintes padrões: RS485, Manchester (similar à rede AS-I) ou fibra óptica.

A figura 2.2 mostra o atendimento da rede PROFIBUS aos vários níveis dos sistemas de automação.

Figura 2.2 – Conexão da rede PROFIBUS com diversos níveis de automação.



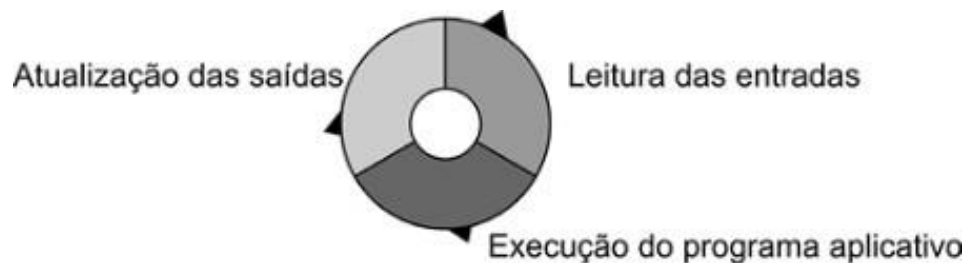
Fonte: Adaptado de Cassiolo et al., 2012.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Características da Rede AS-Interface

Toda rede industrial possui uma série de atributos e peculiaridades que a torna eficiente para determinadas aplicações, todavia, este fato gera algumas limitações de trabalho em universo tão vasto como o da automação industrial. O ciclo de operação do sistema AS-Interface é apresentado na Figura 3.1.

Figura 3.1 – Ciclo de operação do sistema AS-I.



Fonte: Adaptado de Lugli e Santos, 2010.

A seguir, serão apresentadas as características da rede AS-Interface, de acordo com Lugli e Santos (2010):

- A alimentação e a comunicação são trafegadas no mesmo par de fios, uma sobreposta a outra;
- Permite derivações a qualquer momento inclusive com a rede energizada;
- Permite montagem em várias topologias, como estrela, linear ou árvore;
- Permite, no máximo, quatro bits de informações de I/O, podendo ser bidirecionais (quatro entradas + quatro saídas);
- Opera com taxa de transmissão fixa, em 167,5kbps;
- A impedância da rede AS-I varia entre 70 ohms e 140 ohms;

- O tempo de resposta máximo pode chegar a 5ms (para versão 2.0), 10ms (para versão 2.1) e 20ms (para versão 3.0), caso a rede esteja com todos os escravos pontos de I/O sendo utilizados;
- O comprimento máximo da rede é de 100 metros por trecho, independentemente da versão;
- É possível a instalação de repetidores e amplificadores para melhora do comprimento da rede;
- É possível a comunicação com outras redes por meio de Gateways;
- Fácil operação e monitoramento;
- Padrão internacional aberto (associação: www.as-interface.net - norma europeia EN 50295 ou internacional IEC 62026-2);
- Baixo custo por escravo instalado na rede;
- Único cabo de rede.

Entretanto, a rede AS-Interface possui algumas limitações de operação, com destaque para a baixa capacidade de tráfego de dados, limitada a 4 bits. Além disso, o seu protocolo não permite transmissão assíncrona dos seus escravos, por isso é uma premissa respeitar o tempo de varredura que é considerado alto (Carvalho, 2003).

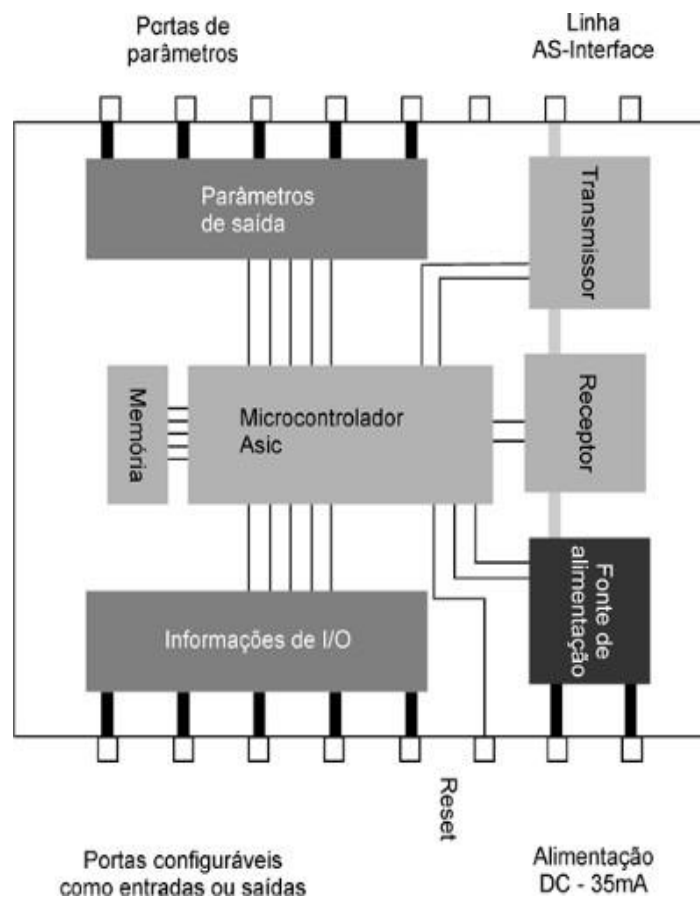
3.2 O mestre e o escravo da rede AS-Interface

O modelo Mestre/Escravo trabalha com requisição e respostas de dados e possui um dispositivo ativo chamado mestre que pode agir como detentor do direito de transmissão, capaz de enviar mensagens independentemente de solicitações externas. Havendo mais de um mestre no mesmo barramento, utiliza-se o mecanismo de passagem de token, ou seja, mecanismo de controle de acesso ao meio. Os escravos não possuem direito de acesso deliberado ao barramento e podem apenas confirmar o recebimento da mensagem ou responder ao mestre quando solicitados (Lopez, 2000).

Dessa maneira, o mestre da AS-I é o responsável por fazer a coordenação da rede, o controle dos escravos através do software armazenado no mesmo, o qual pode sofrer alterações por meio da rede de monitoramento, cuja rede pertence a um nível superior. O componente mestre pode

ser uma placa de controle (PC), um cartão de controlador lógico programável (CLP) ou até mesmo um CLP de pequeno porte. Já os escravos são os dispositivos atuadores do sistema. Eles podem ser sensores, atuadores, transmissores, módulos de entrada e saída, dentre outros. A tecnologia embarcada no escravo é um microcontrolador alimentado pela rede AS-I com 30,5 Vdc. O microcontrolador, mostrado na Figura 3.2, tem a capacidade de comunicação de 8 bits, 4 bits para informações de entrada e 4 bits para informações de saída (Lugli e Santos, 2010).

Figura 3.2 – Diagrama de Blocos do microcontrolador.



Fonte: Adaptado de Lugli e Santos, 2010.

3.3 Características elétricas da rede AS-Interface

Na rede AS-I é utilizado um cabo flat com dois fios sem blindagem, com uma seção geometricamente específica, com a finalidade de proteção contra inversão de polaridade. São transmitidos ao mesmo tempo sinais de dados e alimentação. O cabo flat da rede AS-I é autocicatrizante e estão disponíveis nas versões amarelo (dados e energia 30 Vcc) e preto (alimentação auxiliar 24 Vcc). A fonte de alimentação para o sistema deve ser especificada para operar entre 26,5 Vdc e 31,6Vdc. É imprescindível conter proteções contra surtos, sobrecargas e afins, além disso, deve ter um conjunto de indutores para garantia da integridade do sinal da rede (Moraes e Castrucci, 2007). A sua localização na rede deve ser o mais perto possível do ponto de maior consumo de energia, evitando assim grandes percas por quedas de tensão no sistema. O cabo da rede AS-I é perfilado, não é blindado, tem dois pares de fios, os quais trafegam a alimentação e o controle para os escravos da rede.

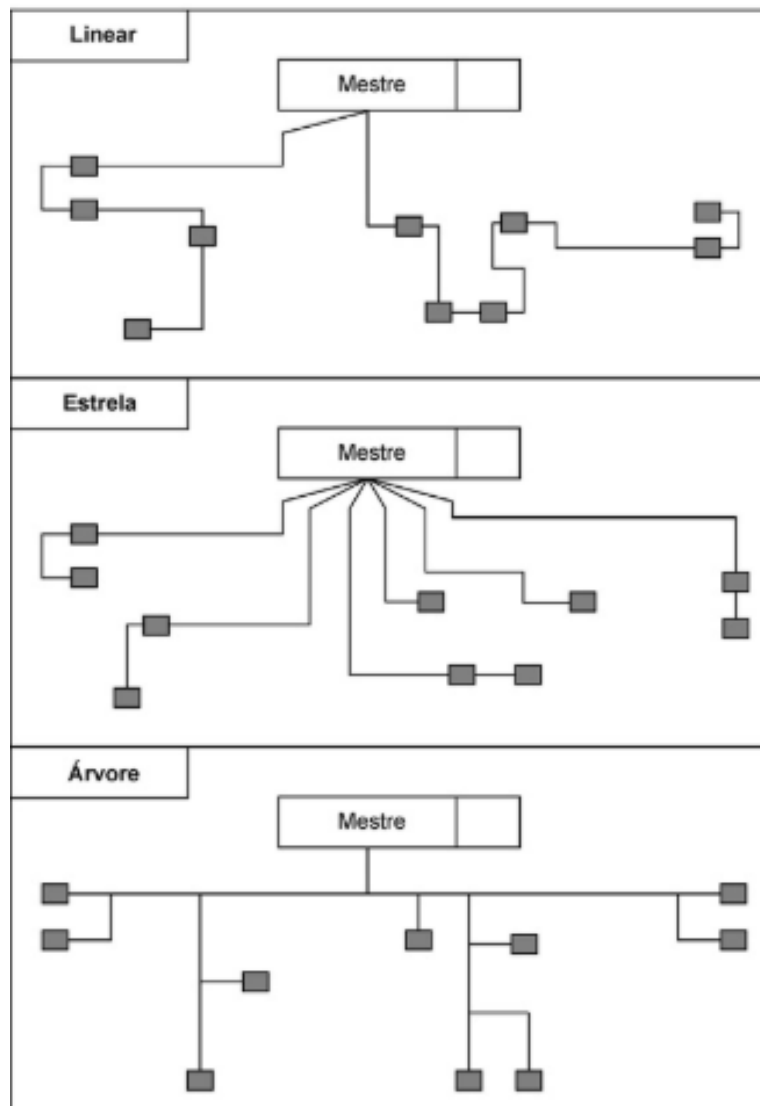
De acordo com Lugli e Santos (2010), o cabo AS-I possui as seguintes características elétricas: resistividade menor do que 0,09 ohms/metro, indutância entre 400nH/metro e 1300nH/metro, capacitância menor do que 80pF/metro e impedância entre 70 ohms e 140 ohms, para a taxa de transmissão de 167,5Kpbs.

3.4 Arquitetura de possíveis redes para a AS-interface

A rede AS-Interface permite grande variedade de topologias, sendo considerado um ponto positivo para essa rede, pois oferece ao projeto muitas possibilidades de implementações em ambientes industriais, que permeia aos mais variados e complexos layouts existentes.

Na Figura 3.3, na próxima página, são destacadas as soluções mais utilizadas pelos projetistas na elaboração de sistemas de rede AS-Interface.

Figura 3.3 – Topologias típicas da rede AS-I.



Fonte: Adaptado de Lugli e Santos, 2010.

A rede AS-I suporta qualquer topologia de cabeamento: estrela, barramento, árvore, anelar ou qualquer outra configuração com até 100 metros de cabo. Além disso, com a adição de repetidores é possível expandir o sistema até 300 metros (SMAR, 2012).

3.5 Características da rede MODBUS

De acordo com Freitas (2014), o MODBUS é um dos protocolos mais utilizados em automação industrial, graças à sua simplicidade e facilidade de implementação, podendo ser utilizado em diversos padrões de meio físico, como:

- RS-232;
- RS-485;
- Ethernet TCP/IP (MODBUS TCP).

Segundo Caldiéri (2016), a velocidade de comunicação varia em cada um desses padrões, bem como o comprimento máximo da rede e o número máximo de dispositivos conectados. O padrão RS-232 (Recommendad Standart-232) ou EIA-232 (Electronic Industries Alliance-232) é utilizado apenas em comunicações do tipo ponto a ponto, ou seja, só admite dois dispositivos na rede, que no caso do protocolo MODBUS representa o mestre e um escravo. A velocidade máxima desse padrão está em torno de 115Kbps, mas em alguns casos podem ser encontradas taxas um pouco maiores, a distância máxima entre os dispositivos da rede está em torno de 30m.

Já o padrão RS-485 (Recommendad Standart-485) ou EIA-485 (Electronic Industries Alliance-485) por ser muito utilizado na indústria, é sem dúvida é um dos padrões mais utilizados pelo protocolo MODBUS. Esse padrão permite trabalhar com taxas de comunicação que podem chegar a 12Mbps e em alguns casos até 50Mbps, notando que quanto maior o comprimento da rede menor será a velocidade de comunicação, sendo que a distância máxima da rede está em torno de 1200m, e o número máximo de dispositivos no barramento da rede é de 32 (Caldiéri, 2016).

O padrão Ethernet no protocolo MODBUS possui algumas variações, podendo chegar a 100Mbps ou até 10Gbps. A distância máxima pode variar de 100m até próximo de 200m dependendo do tipo de cabo utilizado e das condições de instalação do mesmo. Em alguns casos é possível utilizar redes em fibra ótica, fato que permite alcançar distâncias maiores e melhores taxas de comunicação, bem como utilizar comunicação wireless. Nesse caso, ao utilizar o meio físico Ethernet, o protocolo MODBUS opera com o mecanismo de controle de acesso CSMA-

CD, que é próprio da rede Ethernet, com mensagens no modelo cliente-servidor (Caldiéri, 2016).

Pelo grande aumento na utilização do protocolo MODBUS nos últimos anos, especialmente após a implementação do MODBUS TCP (Thomesse, 1999), e pelas características citadas, considera-se MODBUS como o protocolo ideal para realizar a abordagem de interligação com máquinas e equipamentos industriais. Além disso, como a distância de interligação entre equipamentos é um requisito importante, torna-se mais vantajoso a utilização do padrão RS-485 que permite uma distância entre os pontos de conexão de até 100m. O padrão serial RS-485 continua sendo o meio físico mais utilizado atualmente para este protocolo.

3.6 Modos de transmissão da rede MODBUS

O protocolo Modbus pode ser configurado para trabalhar com dois modos de transmissão disponíveis: ASCII (American Standard Code for Information Interchange) ou RTU (Remote Terminal Unit), os quais definem como os dados serão empacotados na mensagem. Estes modos são escolhidos durante a configuração dos parâmetros de comunicação, tais como: baud rate, paridade, stop bits (Modbus, 2015).

Em uma rede industrial utilizando o protocolo MODBUS, todos os dispositivos da rede devem ser configurados com o mesmo modo de transmissão. A principal vantagem deste modo de transmissão é a possibilidade de haver grandes intervalos entre o envio de dados de uma mesma mensagem (Alfa Instrumentos, 2000).

Os modos de transmissão definem a forma como são transmitidos os bytes da mensagem, como a informação da mensagem será empacotada na mensagem e descompactada. Não é possível utilizar os dois modos de transmissão, ASII e RTU, na mesma rede. O modo de transmissão pode ser selecionado com outros parâmetros da porta de comunicação serial, mas existem equipamentos que não permitem essa seleção, pois possuem modo de transmissão fixo, como por exemplo, alguns CLP's e inversores de frequência que utilizam o modo RTU por padrão (Freitas, 2014).

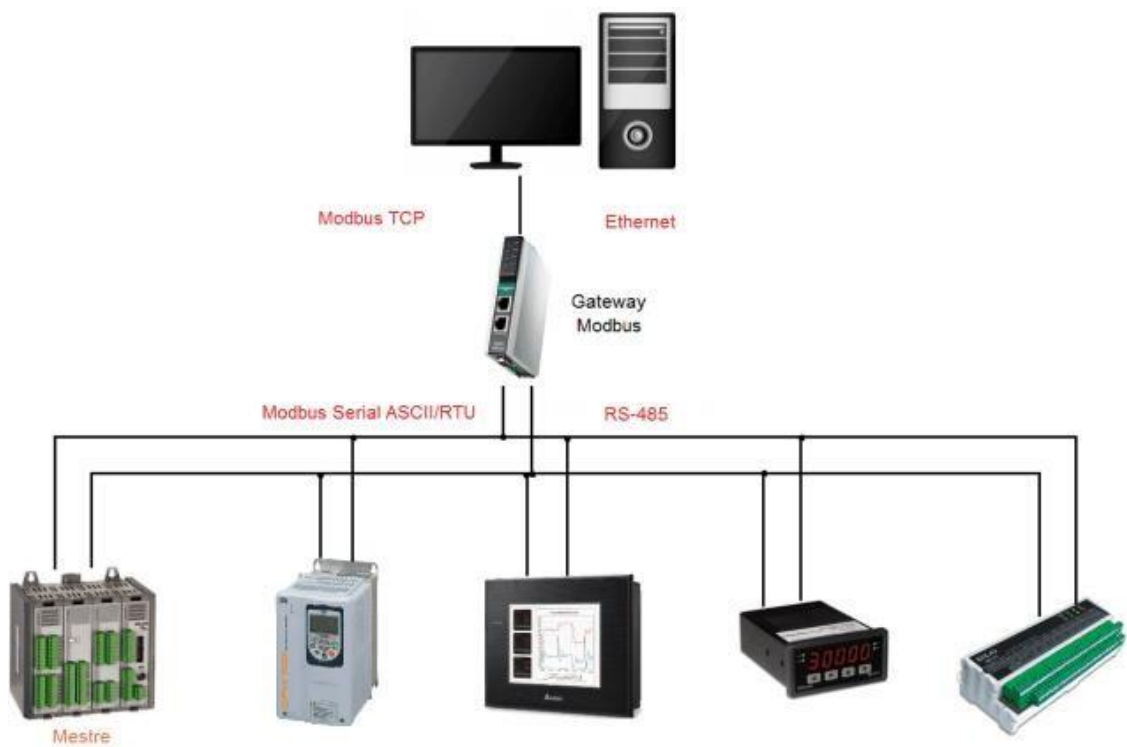
Quando os equipamentos são configurados para se comunicarem em uma rede MODBUS usando ASCII, cada byte em uma mensagem é enviado como dois caracteres ASCII. Apesar de gerar mensagens legíveis pela tabela ASCII esse modo consome mais recursos da rede. A principal vantagem dessa modalidade é que permite que os intervalos de tempo sejam cerca de um segundo para correr entre os caracteres sem causar erro. Dessa forma os dispositivos monitoram constantemente a rede para o início de uma mensagem. Quando uma mensagem é iniciada pelo mestre, todos os dispositivos da rede decodificam o campo de endereço para determinar qual escravo deve receber a mensagem. Intervalos de até um segundo podem decorrer entre caracteres dentro da mensagem. Se ocorrer um intervalo maior, o dispositivo receptor assume que ocorreu um erro. O campo de checagem de erros é baseado no método LRC (Longitudinal Redundancy Check) (Andrade, 2019).

No modo RTU, cada mensagem de 8 bits contém dois caracteres hexadecimais de 4 bits. A principal vantagem desse modo é que sua maior densidade de caracteres permite um melhor processamento de dados do que o modo ASCII para o mesmo baudrate (velocidade de comunicação). Cada mensagem deve ser transmitida em um fluxo contínuo de caracteres. No modo RTU não existe um caractere específico que indique o início ou o fim de um telegrama. A indicação de quando uma nova mensagem começa ou quando ela termina é feita pela ausência de transmissão de dados na rede, por um tempo mínimo de 3,5 vezes o tempo de transmissão de um byte de dados. Sendo assim, caso um telegrama tenha iniciado após a decorrência desse tempo mínimo, os elementos da rede irão assumir que o primeiro caractere recebido representa o início de um novo telegrama. E da mesma forma, os elementos da rede irão assumir que o telegrama chegou ao fim quando, recebidos os bytes do telegrama, este tempo decorra novamente. Se durante a transmissão de um telegrama o tempo entre os bytes for maior que este tempo mínimo, o telegrama será considerado inválido, pois o controlador irá descartar os bytes já recebidos e montará um novo telegrama com os bytes que estiverem sendo transmitidos. O tempo para transmitir uma palavra do quadro varia de 573us para taxas de comunicação acima de 19200bits/s e 9 ms para a taxa de 1200bits/s. O campo de checagem de erros é baseado no método CRC (Cyclical Redundancy Checking) (Andrade, 2019).

3.7 Arquitetura de possíveis redes para o MODBUS

Essa rede permite muitas variedades de topologias e sua escolha deve levar em consideração as características físicas do local de instalação, umas das qualidades mais relevantes da rede MODBUS é a sua flexibilidade em relação a instalação física, na figura 3.4 mostra um exemplo de instalação.

Figura 3.4 – Topologia típica da rede MODBUS



Fonte: Adaptado de Andrade, 2019.

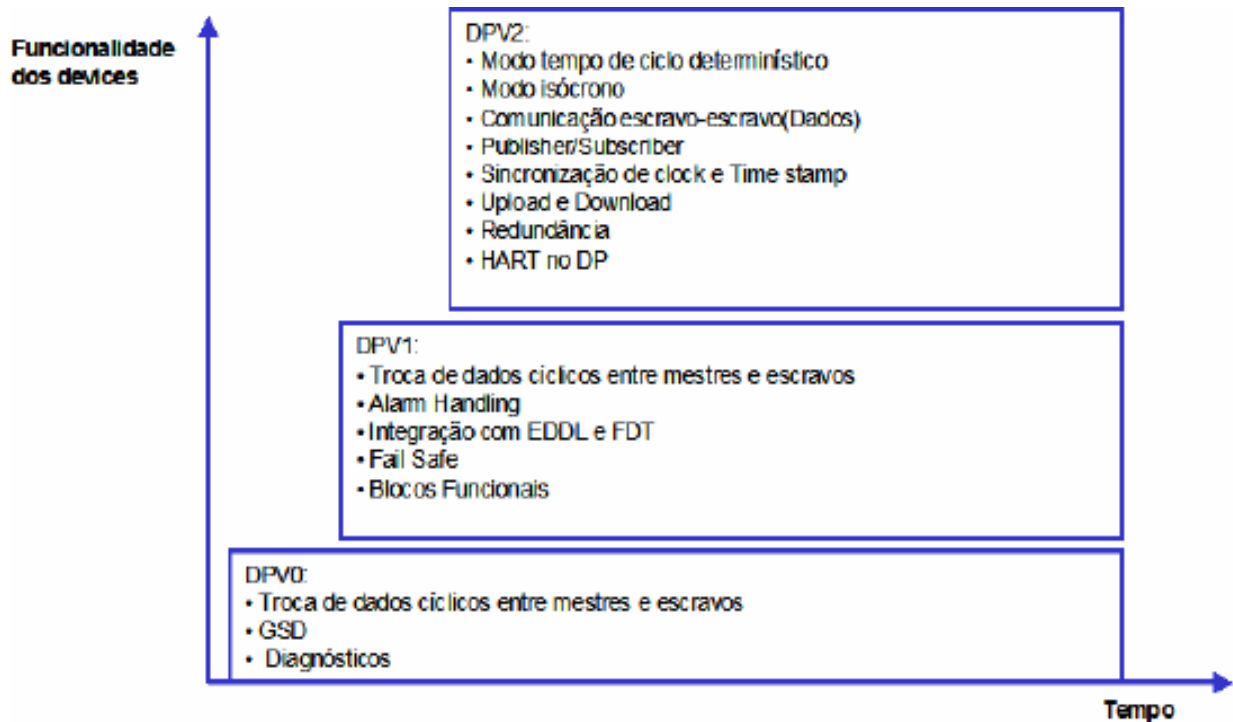
3.8 PROFIBUS-DP

O PROFIBUS-DP teve seu desenvolvimento otimizado especialmente para comunicações entre os sistemas de automação e equipamentos descentralizados, voltado para sistemas de controle, onde se destaca o acesso aos dispositivos de I/O distribuídos. Dessa maneira, essa tecnologia é uma solução de alta velocidade de conexão (high-speed) e baixo custo, podendo ser usada para substituir a transmissão de sinal em 24 Vcc em sistemas de automação de manufatura assim como para a transmissão de sinais de 4 a 20 mA em sistemas de automação de processo (Lugli e Santos, 2010).

Estima-se que mais de 90% de toda rede PROFIBUS utilize a tecnologia da rede PROFIBUS-DP, que é conhecida como periferia descentralizada e tem como principais características a alta velocidade de transmissão de dados e o baixo custo de implementação (Franco et al., 2008). Nesse sentido, de acordo com Cassiolato et al. (2012), a rede PROFIBUS-DP pode substituir sistemas centralizados em manufaturas, sinais de instrumentos de campo, dentre outros. Porém, neste ponto observa-se uma limitação em relação aos dispositivos analógicos, pois, esta rede é baseada na ideia de mestre e escravo com tempo de ciclo de informações fixo, onde o mestre lê as informações de entrada dos escravos e envia o comando aos mesmos, sendo que o tempo de um cliço varia de 2 a 6ms dependendo da taxa de transmissão desejada. Outro fator limitante é que o tempo do ciclo da rede deve ser menor que o ciclo do CLP.

A rede PROFIBUS-DP é baseada na norma EM 50170 onde são abordadas três versões de protocolo da rede PROFIBUS-PA, que são as seguintes: DP-V0, DPV1 e DP-V2. As características de cada uma das três versões são apresentadas na Figura 3.5.

Figura 3.5 - Versões da rede PROFIBUS-DP.



Fonte: Adaptado de Lugli e Santos, 2010.

3.9 PROFIBUS-PA

A rede PROFIBUS-PA é de uso mais restrito, sendo dedicada a sinais analógicos de 4 a 20 mA ou HART, cuja velocidade de transmissão é fixa em 31,25 kbps. Essa rede precisa necessariamente estar ligada a um mestre DP e seu custo de aplicação é alto. Em contrapartida, a PROFIBUS-PA apresenta solução que atende aos requisitos da automação de processos, onde se tem a conexão com equipamentos de campo, tais como, transmissores de pressão, temperatura, conversores, posicionadores e outros. Além disso, o uso deste protocolo permite a economia de custos nos planos de cabeamento, comunicação e manutenção, além de aumentar a funcionalidade e a segurança (Albuquerque e Alexandria, 2007).

A vantagem da rede PROFIBUS-PA em relação a PROFIBUS-DP é sua capacidade de configuração e parametrização do instrumento de campo, além da possibilidade do uso de padrões de diagnósticos avançados o que reduz muito o tempo de parada das plantas industriais

e traz inteligência para o chão de fábrica de maneira a deixá-lo mais integrado com os outros níveis da automação.

A rede PROFUBUS-PA permite a alimentação através de apenas um par de fios além da medição e controle do instrumento. Sua alimentação está baseada na IEC 61158-2, podendo ser utilizado em áreas potencialmente explosivas. A seguir estão apresentadas as principais características dessa tecnologia de acordo com Cassiolato (2011):

- Cada segmento possui somente uma fonte de energia, a fonte de alimentação;
- Alimentação não é fornecida ao barramento enquanto uma estação está enviando;
- Os dispositivos de campo consomem uma corrente básica constante quando em estado de repouso;
- Os dispositivos de campo agem como consumidores passivos de corrente (*sink*);
- Uma terminação passiva de linha é necessária, em ambos os fins da linha principal do barramento;
- Topologia linear, árvore e estrela são permitidas.

3.10 Meio físico da PROFIBUS

Segundo Cassiolato (2011), a transmissão da rede PROFIBUS pelo meio físico pode ser feita de três maneiras: RS485 para rede DP; fibra óptica para rede DP; ou Manchester para rede PA. Entretanto, os cabos têm limitação de comprimento e o mestre limitação de escravos por ramo. O mestre aceita até 30 escravos por segmento, com número máximo de segmentos fixados em quatro, ou seja, 120 escravos mais um mestre. Já o cabo RS485 segue um padrão internacional onde sua resistência é de 11° ohms e sua capacidade de transmissão em relação a distância está apresentado na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Relação de transmissão e distancia da rede PA.

| Taxa de transmissão [kbits/s] | Distância, em metros, por trecho de rede [m] |
|---|--|
| 9.6; 19.2; 45.45; 93.75 | 1200 |
| 187.5 | 1000 |
| 500 | 400 |
| 1500 | 200 |
| 3000; 6000; 12000 | 100 |
| Os valores acima se referem ao cabo Tipo A e suas características elétricas estão mostradas a seguir: | |

Fonte: Adaptado de Cassiolato, 2011.

Ainda de acordo com Cassiolato (2011), existem dois tipos de cabos aceitos pela rede PROFIBUS: o cabo de duas vias onde trafega apenas o sinal de comunicação da rede; e o cabo de quatro vias onde também passa a alimentação do instrumento que por padrão é de 24 Vdc. Já a tecnologia Manchester usada na rede PA, tem uma transmissão constante de 31,25kbps e é utilizada em ambientes hostis onde a segurança de dados é imprescindível. Neste caso o mesmo cabo leva a informação de controle e a alimentação para o instrumento, pois, a rede PA tem sua própria fonte de alimentação cujas características são específicas para o atendimento correto da aplicação. A tabela 3.2 mostra a relação de transmissão e distância do cabo em questão.

Figura 2.9 – Características rede PA.

| | |
|----------------------------|--|
| Transmissão de dados | Digital, sincronizado a bit, código Manchester |
| Taxa de transmissão | 31,25 kbit/s, modo tensão |
| Segurança de dados | Preâmbulo, error-proof start e end limiter |
| Cabos | Par trançado blindado |
| Alimentação | Via barramento ou externa (9-32Vdc) |
| Classe proteção à explosão | Segurança intrínseca (Ex IA/IB) e encapsulada (Ex d/m/p/q) |
| Topologia | Linha ou árvore, ou combinadas |
| Número de estações | Até 32 estações por segmento, máximo de 126 |

Fonte: Adaptado de Cassiolato, 2011.

3.11 Componentes da rede PROFIBUS

Os componentes básicos da rede PROFIBUS são: o repetidor, os terminadores, o conversor eletro-óptico, os conectores, os cabos e a fonte de alimentação. Para garantir o bom funcionamento do sistema de automação, todos os componentes devem ser certificados na rede PROFIBUS (Cassiolato et al., 2012).

O repetidor de sinal na rede PROFIBUS, representado pela Figura 3.6, é responsável por assegurar níveis adequados aos sinais da rede, de maneira que ao receber o sinal uma espécie de “limpeza” é feita no sinal, que em seguida é amplificado passando para o próximo segmento. Este componente representa um baixo custo baixo dentro do sistema.

Figura 3.6 – Repetidor da rede do sistema PROFIBUS



Fonte: Adaptado de Siemens, s.d.

Já os terminadores, representados pela Figura 3.7, são componentes de baixo custo, responsáveis por garantir a correta impedância do segmento da rede, devendo estar ativos no começo e no final da rede a fim de evitar problemas na comunicação.

Figura 3.7 – Terminador ativo do sistema PROFIBUS



Fonte: Adaptado de Siemens, s.d.

O conversor eletro-óptico, conhecido popularmente como OZD, representa custo médio dentro do sistema e está ilustrado na Figura 3.8. Esse componente consegue fazer a transição do meio RS485 para fibra ótica e vice-versa e é utilizado para que a rede possa se estender por um comprimento maior sem perda de sinal, uma vez que a transmissão por fibra-óptica é muito eficiente.

Figura 3.8 – Conversor eletro-óptico do sistema PROFIBUS



Fonte: Adaptado de Industrial Networking Solutions, s.d.

Os conectores da rede PROFIBUS, representados na Figura 3.9, são os responsáveis por fazer a interface com os equipamentos, tanto com os mestres como com os escravos. Esse componente possui diversas inclinações e opções de isolamento o que é considerando uma grande vantagem por facilitar a instalação da rede como um todo.

Figura 3.9 – Conector de rede PROFIBUS



Fonte: Adaptado de Siemens, s.d.

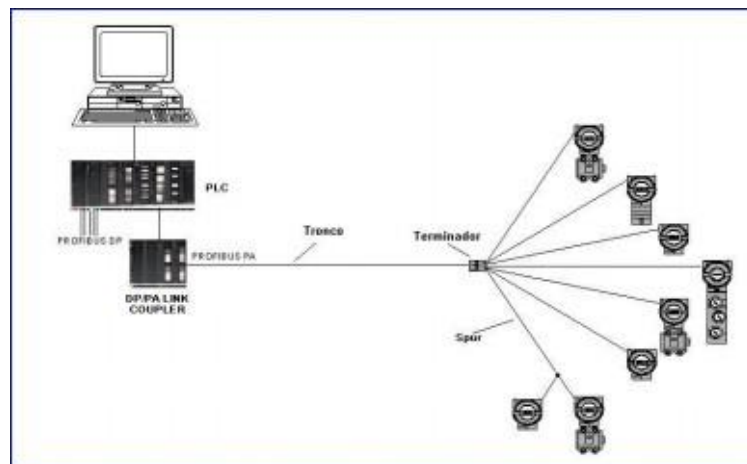
Quanto à fonte da alimentação da rede PROFIBUS-PA, esse componente possui características específicas, sendo que sua variação de tensão pode ocorrer entre 9 e 24 Vdc. A fonte de alimentação PROFIBUS representa um alto custo, pois, sua instalação ocorre na placa de conversão do sinal DP para o sinal PA, o que faz com que sua fabricação seja um processo mais complexo do que o de uma fonte comum.

3.12 Arquitetura de possíveis redes para a PROFIBUS

A rede PROFIBUS é fundamentada em padrões reconhecidos internacionalmente, sendo sua arquitetura de protocolo norteadas ao modelo de referência OSI conforme o padrão internacional ISO 7498. De acordo com o modelo OSI, na camada 1 (física) são definidas as características físicas de transmissão, na camada 2 (enlace) define-se o protocolo de acesso ao meio e na camada 7 (aplicação) são definidas as funções de aplicação (Cassiolato et al., 2012).

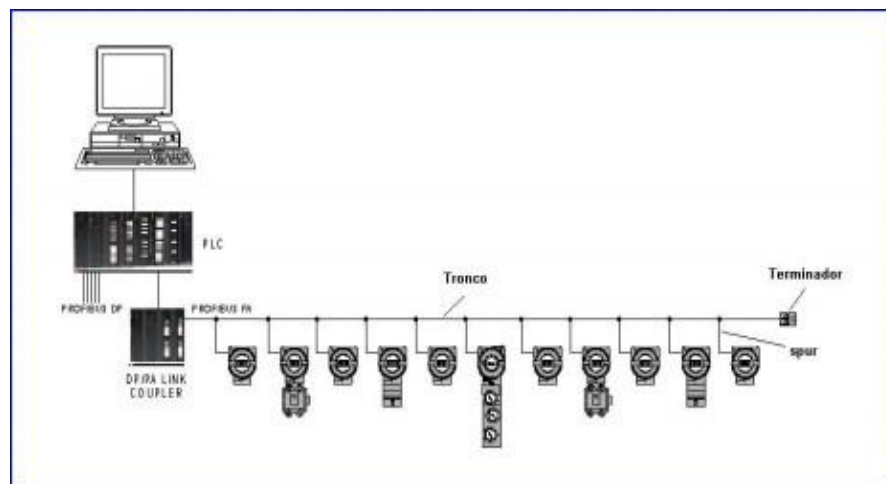
Essa rede permite muitas variedades de topologias e sua escolha deve levar em consideração as características físicas do local de instalação, além das características de performance exigidas pelo projeto. As figuras 2.10a, 2.10b e 2.10c representam os principais tipos usados nas indústrias.

Figura 2.14a – Topologia em estrela da rede PROFIBUS.



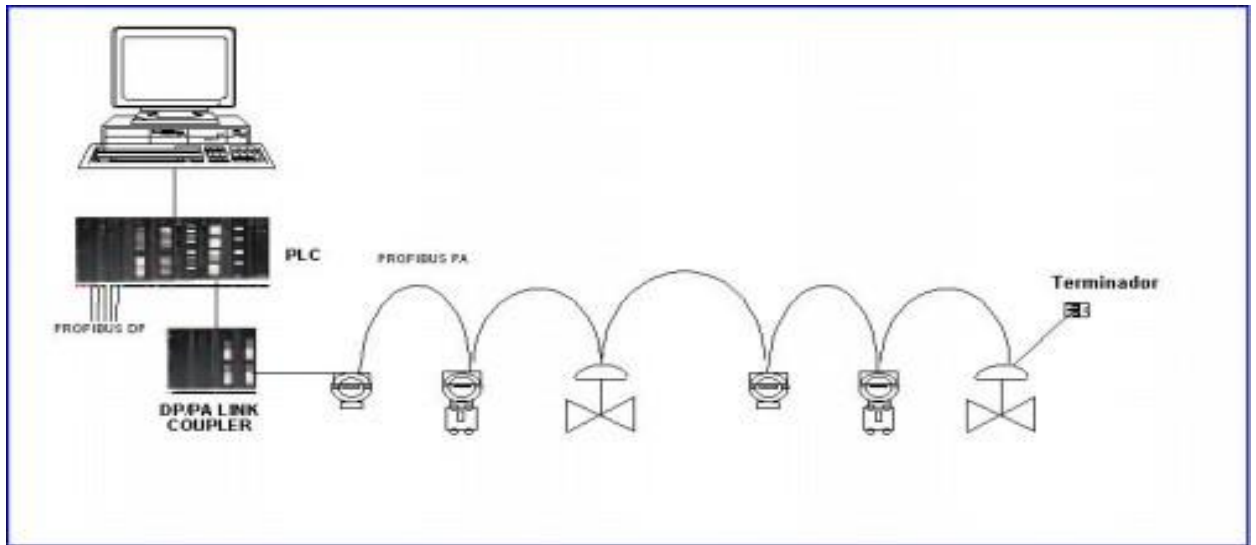
Fonte: Figura adaptada de profibus.org.br.

Figura 3.10b – Topologia em barramento da rede PROFIBUS.



Fonte: Figura adaptada de profibus.org.br.

Figura 3.10c – Topologia ponto a ponto da rede PROFIBUS.

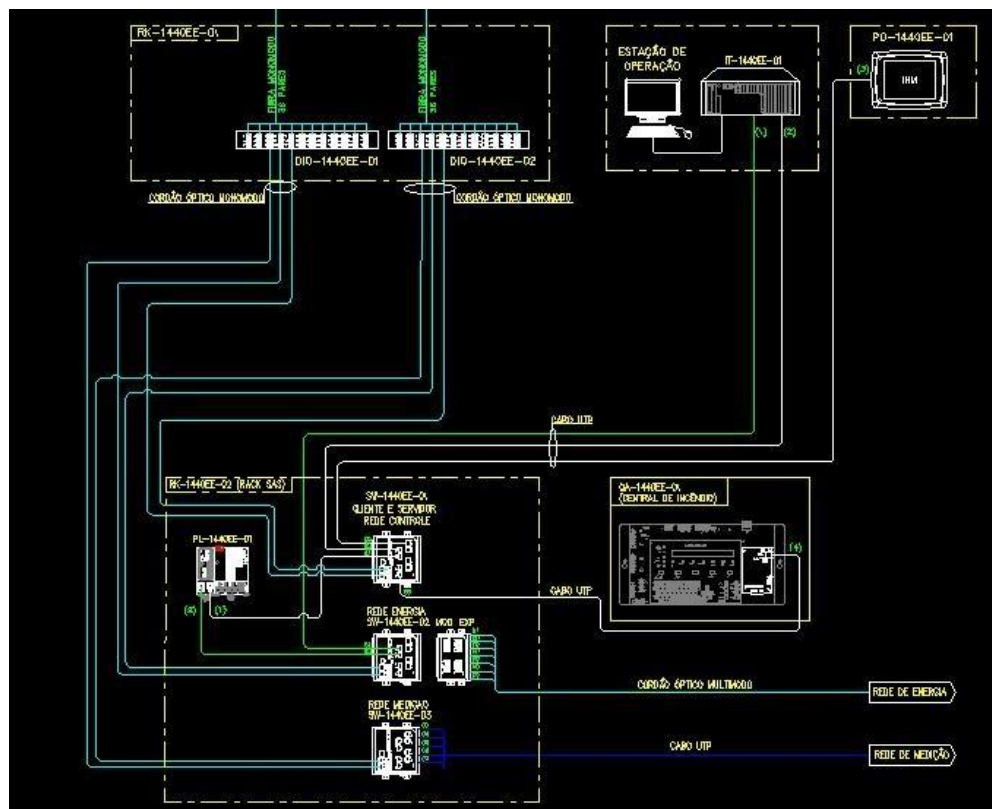


Fonte: Figura adaptada de profibus.org.br.

4 APLICAÇÕES PRÁTICAS DAS REDES INDUSTRIAIS

Para melhor entendimento dos conceitos apresentados sobre as redes industriais discutidas, este capítulo apresentará aplicações práticas dos sistemas de automação industrial em projetos elaborados pelo próprio autor deste trabalho, para uma grande empresa de mineração nacional. A figura 4.1 mostra como é feita a separação entre três tipos de diferentes redes com utilização do mesmo protocolo. Neste caso a Modbus foi utilizada pela sua flexibilidade, pois possibilita a criação das redes de energia IEC-61850, rede de controle e a rede de medição de uma subestação responsável pela parte de flotação de uma planta de minério de ferro.

Figura 4.1 – REDES CONFIGURADAS EM MODBUS.

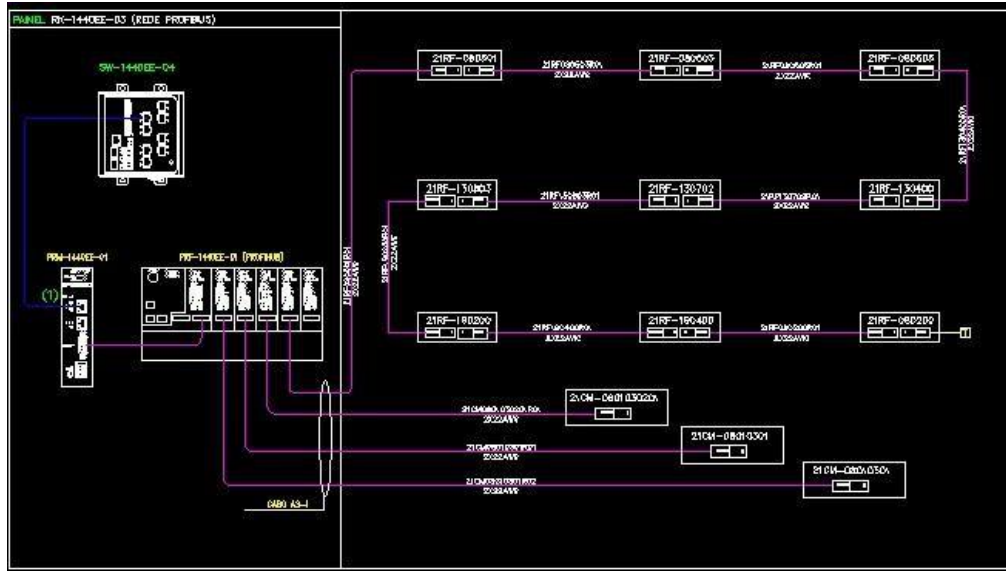


Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

Já a figura 4.2 apresenta como um amplificador trabalha em uma rede PROFIBUS, onde anteriormente apenas um ramo, com capacidade para 31 escravos, passa a ser uma rede de 4 ramos, aumentando consideravelmente o número de elementos com possibilidades de serem incorporados à rede em questão.

Essa estratégia faz a otimização do projeto e reduz os custos de implantação da rede, pois, no caso da necessidade de 4 módulos separados, o custo seria bem maior.

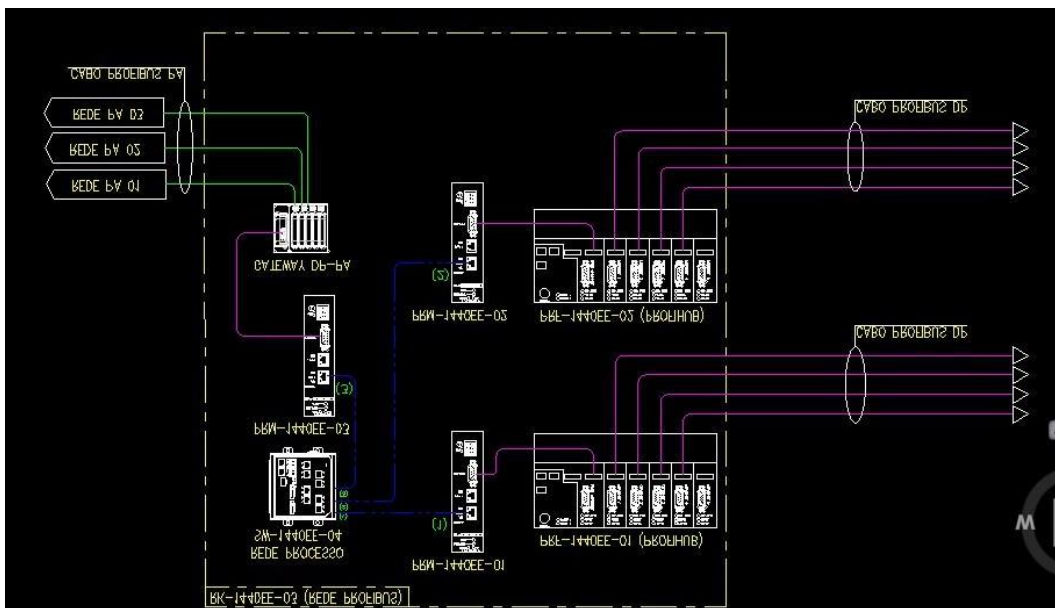
Figura 4.2 – REDE PROFIBUS AMPLIFICADA.



Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

A figura 4.3 apresenta o esquema de derivação de rede PROFIBUS-PA a partir de uma PROFIBUS-DP.

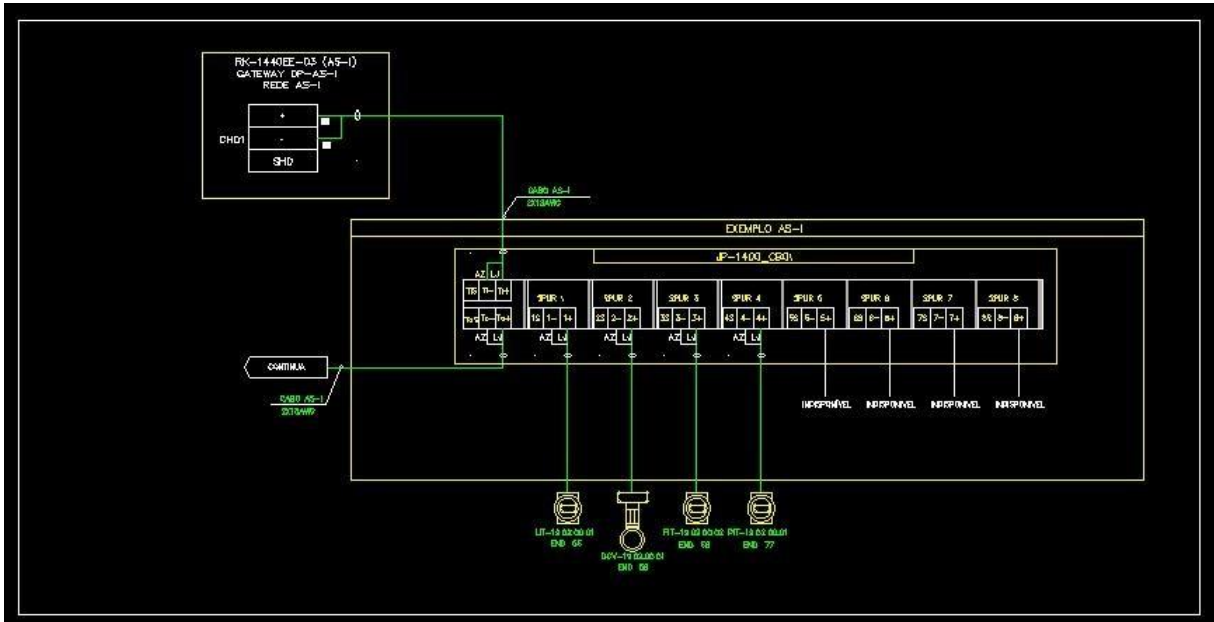
Figura 4.3 – REDE PROFIBUS-PA



Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

Por fim, a figura 4.4 apresenta uma rede AS-I com topologia de barramento com instrumentos de uma flotação em processo de enriquecimento de minério de ferro.

Figura 4.4 – REDE AS-I BARRAMENTO



Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo dos anos, o controle de plantas industriais passou por consideráveis avanços tecnológicos e com o aparecimento do controle digital, os sistemas passaram a ter uma separação física mais marcante entre o processo e os instrumentos de controle. Dessa maneira, as primeiras redes industriais foram criadas para que o controle pudesse ser feito a grandes distâncias do processo.

Através do presente trabalho, foi possível perceber que a instalação e manutenção de sistemas de automação e controle tradicionais implicam em altos custos principalmente quando se espera ampliar uma aplicação onde são demandados, além dos custos de projeto e equipamento, custos com cabeamento destes equipamentos à unidade central de controle. Portanto, para reduzir os custos e aumentar a operacionalidade de uma aplicação industrial, o conceito de redes industriais interliga os vários equipamentos de uma aplicação. Por consequência, a superioridade das redes industriais em relação aos sistemas tradicionais deve-se principalmente aos fatores técnicos e econômicos que os tornam uma tecnologia extremamente vantajosa e atraente, sendo que essas vantagens são ocasionam ferramentas que tornam os sistemas de redes industriais muito competitivos, havendo uma grande confiabilidade e modularidade, facilitando o entendimento do sistema e reduzindo os custos para a indústria comparativamente aos sistemas centralizados com a utilização de Controladores Lógicos Programáveis (CLP).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, P. U. B. de; ALEXANDRIA, A. R. de. Redes industriais: aplicações em sistemas digitais de controle distribuído: Fortaleza. Edições Livros Técnicos, 2007.

ALFA INSTRUMENTOS. Protocolo de Comunicação Modbus RTU/ASCII, Alfa Instrumentos, 2000.

ALMEIDA, M. A.; ATAÍDE, F. H.; SANTOS, M. M. Protocolo AS-I: Agregando inteligência a sensores e atuadores. Disponível em: <http://www.profibus.org.br/artigos_tecnicos/protocolo-as-i-agregando-inteligencia-a-sensores-e-atuadores>. Acesso em: 26 out de 2019.

ANDRADE, F. Tudo sobre o protocolo MODBUS. 2019. Disponível em: <<https://automacaoecartoons.com/2018/11/23/protocolo-modbus/>>. Acesso em 07 nov. 2019.

CALDIÉRI, M. R. Implementação do MODBUS para aplicação em sistema de controle via rede sem fio. Dissertação de mestrado em Engenharia Elétrica. Universidade Estadual paulista “Júlio de Mesquita Filho”. 68 páginas. 2016.

CARVALHO, P. C. Arquiteturas de sistemas de automação industrial – 2ª parte. In Mecatrônica - Automação Industrial de Processos e Manufatura, p. 48–51, Brasil, 2003.

CASSIOLATO, C. (2012). Redes Industriais – Parte 1. Revista Saber Eletrônica. Edição 461. Páginas 24 a 32.

CASSIOLATO, C. PROFIBUS-PA: Meio físico IEC 61158-2. 2011. Disponível em: <<http://smar.com/newsletter/marketing/index163.html>>. Acesso em: 06 nov. 2019.

CASSIOLATO, C.; TORRES, L. H. B; PADOVAN M. A. Profibus – descrição técnica. 2012. Disponível em: <http://http://www.profibus.org.br/files/DescricaoTecnica/PROFIBUS_DESC_TEC_2012.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2019.

COSTA, A. C.; SILVA, J. J. C.; SILVA, J. J.; ROCHA NETO, J. S. Monitoramento de sensores em uma rede industrial utilizando CLP e computador. In: XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. 2012.

DLG AUTOMAÇÃO. Disponível em: <<http://www.dlg.com.br/produtos/tdp-100-terminador-ativo-profibus-dp>>. Acesso em: 05 nov. 2019.

FRANCO, L. R. H. R.; VERMAAS, L. L. G. O Fieldbus. In: Apostila do curso de Automação e Controle Industrial – Uma Visão Gerencial – Módulo 5. 2008. Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria – FUPAI, Itajubá – MG.

FREITAS, C. M. Protocolo Modbus: Fundamentos e Aplicações. 2014. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/protocolo-modbus/>>. Acesso em: 07 nov. 2019.

INDUSTRIAL NETWORKING SOLUTIONS. Disponível em: <<https://www.industrialnetworking.com/Manufacturers/Hirschmann-Profibus-Fiber-Interface-Modules/Hirschmann-OZD-PROFI-12M-P11-Profibus-Fiber-Interface-942-148-007>>. Acesso em 05 nov. 2019.

LOPEZ, R. A. Sistemas de redes para controle e automação: Rio de Janeiro. Book Express, 2000.

LUGLI, A. B.; SANTOS, M. M. D. Redes industriais para automação industrial. AS-I, Profibus e Profinet. 2. ed. São Paulo. Érica, 2010.

MODBUS (2015). Modbus Organization. Disponível em: <<http://www.modbus.org/>>. Acesso em 07 nov. 2019.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. Engenharia de automação industrial: 2. ed. Rio de Janeiro. LTC, 2007.

REGAZZI, R. D.; PEREIRA, P. S.; SILVA JR, M. F. Soluções Práticas de Instrumentação e Automação – Utilizando a Programação gráfica LabVIEW: Rio de Janeiro: KWG, 2005.

SIEMENS INDUSTRY MALL. Disponível em:
<<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7972-0AA02-0XA0>>.
Acesso em 05 nov. 2019.

SMAR. Tutorial sobre a Tecnologia AS-i. 2012. Disponível em:
<<http://www.smar.com/brasil/asi>>. Acesso em: 28 out. 2019.

THOMESSE, J. P. Fieldbuses and interoperability. *Control Engineering Practice*, v. 7, n. 1, p. 81–94, 1999.

VICTORINO, M. Conheça sobre AS-Interface – A Rede Industrial mais simples, prática e eficiente disponível no mercado. 02 mar de 2017. Disponível em:
<<http://blog.murrelektronik.com.br/protocolos-de-rede-as-interface/>>. Acesso em: 26 out de 2019.