

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

ROBERTO EGON PFAFFENZELLER

ESTUDO DA SUBSTITUIÇÃO DE UMA MALHA DE INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL COM PROTOCOLO HART POR UMA REDE PROFIBUS PA

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2014

ROBERTO EGON PFAFFENZELLER

**ESTUDO DA SUBSTITUIÇÃO DE UMA MALHA DE
INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL COM PROTOCOLO HART POR
UMA REDE PROFIBUS-PA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização, apresentado ao Curso de Especialização em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. M.Sc. Simone Massulini Acosta

CURITIBA
2014

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Camadas do Modelo OSI utilizadas pelo protocolo HART	16
Figura 2 - Sinal HART sobreposto ao sinal 4 a 20 mA	17
Figura 3 – Comunicação HART com dois mestres (primário e secundário) e um escravo.....	18
Figura 4 - Comunicação HART mestre–escravo na configuração ponto a ponto.....	18
Figura 5 – Modo <i>Burst</i> ou <i>Broadcast</i>	19
Figura 6 – Configuração <i>multidrop</i>	20
Figura 7 - Estrutura da mensagem <i>HART</i>	20
Figura 8 – Comunicação Industrial.....	26
Figura 9 – Tempo de ciclo de um sistema PROFIBUS-DP mono- <i>master</i>	30
Figura 10 – Dispositivo Virtual de Campo, <i>virtual field device</i> (VFD) e Dicionário de Objetos, <i>object dictionary</i> (OD)	32
Figura 11 – Configuração típica de um sistema em automação de processo.	33
Figura 12 – Exemplo de sinal FIELDBUS em modo tensão 31,25kbit/s.....	35
Figura 13 – Exemplo de codificador Manchester.	35
Figura 14 – Comparação entre ligações convencionais e PROFIBUS.....	37
Figura 15 – Parâmetros no perfil do PROFIBUS PA.	39
Figura 16 – Topologia Estrela.	41
Figura 17 – Topologia Linear.....	42
Figura 18 – Rede PROFIBUS.	44
Figura 19 – Endereçamento Transparente com a Utilização de <i>Coupler</i> DP/PA.	46
Figura 20 – Endereçamento Estendido com a Utilização de <i>Link</i> DP/PA.....	47
Figura 21 – Terminador de Barramento.	52
Figura 22 – Formas de Ondas Típicas do H1 de Acordo com a Terminação.....	53
Figura 23 – Distância Efetiva em uma Distribuição de Cabo.	54
Figura 24 – Reator de Resina.	55
Figura 25 – Chiller.	56
Figura 26 – Gerador de Vapor.....	56
Figura 27 – Fluxograma de Produção de Resina.	57
Figura 28 – Esquema de Ligação do Transmissor de Temperatura.....	59
Figura 29 – Mudança de fase nas oscilações do tubo medidor causados pelas forças Coriolis.	60
Figura 30 – Modelo de Sensores Coriolis.	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Caractere de início (<i>START</i>).....	21
Quadro 2 - Identificador universal (UID).....	22
Quadro 3 - Campo de endereço.....	22
Quadro 4 - Código de resposta (<i>status ou response code</i>).....	23
Quadro 5 – Significado dos <i>bits</i> do código de resposta quando ocorrer erro de comunicação.....	24
Quadro 6 – Significado dos <i>bits</i> do código de resposta quando não ocorrer erro de comunicação.....	24
Quadro 7 - Codificação dos defeitos do segundo <i>byte</i> do código de resposta.....	25
Quadro 8 - Funções básicas do PROFIBUS-DP	29
Quadro 9 – Parâmetros do bloco de função Saída Analógica (AI).....	40
Quadro 10 – Características de Acopladores DP/PA.	43
Quadro 11 – Características dos Diversos Cabos Utilizados em PROFIBUS-PA.....	48
Quadro 12 – <i>Spur</i> x Número de Equipamentos PA.....	50
Quadro 13 – Distâncias Mínimas de Separação entre Cabeamentos.....	51
Quadro 14 – Modelos do medidor de vazão por Coriolis disponíveis no mercado compatíveis com o protocolo PROFIBUS-PA.....	62
Quadro 15 – Modelos de transmissores de temperatura disponíveis no mercado compatíveis com o protocolo PROFIBUS-PA	63
Quadro 16 – Principais características HART 94 a 20 mA x PROFIBUS PA.....	65

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	TEMA	11
1.2	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	12
1.3	PROBLEMA	12
1.4	OBJETIVOS.....	13
1.4.1	Objetivo Geral.....	13
1.4.2	Objetivos Específicos	13
1.5	JUSTIFICATIVA.....	13
1.6	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	14
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEORICA.....	15
2.1	PROTOCOLO HART	15
2.2	PROTOCOLO PROFIBUS.....	26
2.2.1	Tecnologia PROFIBUS.....	27
2.2.2	Tecnologia PROFIBUS-DP.....	28
2.2.3	Tecnologia PROFIBUS-FMS	31
2.2.4	Tecnologia PROFIBUS-PA.....	33
2.2.4.1	Meio Físico.....	34
2.2.4.2	Aspectos da Comunicação	36
2.2.4.3	Aspectos da aplicação	38
2.2.4.4	Blocos de Função	39
2.2.4.5	Topologias	41
2.2.4.6	Acopladores DP/PA (<i>Coupler</i> DP/PA).....	42
2.2.4.7	Número de Equipamentos PROFIBUS-PA em um Segmento	43
2.2.4.8	Link DP/PA.....	45
2.2.4.9	Endereçamento Utilizando <i>Couplers</i> DP/PA	46
2.2.4.10	Tipos de Cabos Recomendados.....	47
2.2.4.11	Comprimento Total do Cabo e Regras de Distribuição e Instalação.....	48
2.2.4.12	Terminadores da Rede PROFIBUS PA	51
2.2.4.13	Repetidores.....	53
2.2.4.14	Supressor de Transientes.....	53
2.2.4.15	Fonte de Alimentação e Sinal de Comunicação	54
3	PLANTA DE RESINA COM EQUIPAMENTOS HART	55
4.	PLANTA DE RESINA COM EQUIPAMENTO PROFIBUS-PA.....	62
5.	CONCLUSÃO	66
6.	REFERENCIAS	667

1. INTRODUÇÃO

7.1 TEMA

A necessidade de automação na indústria e nos mais diversos segmentos está diretamente ligada a diversas possibilidades, entre elas aumentar a velocidade de processamento das informações (CASSIOLATO, 2012).

Conforme Cassiolato et. al. (2012) os processos industriais estão cada vez mais complexos e variáveis, necessitando de um grande número de elementos de controle e mecanismos de regulação para permitir decisões mais rápidas, possibilitando aumentar os níveis de produtividade e eficiência do processo produtivo dentro das premissas da excelência operacional.

A automação pode proporcionar fatores positivos para a indústria, tais como economia de energia, força de trabalho e matérias-primas, melhoria na qualidade e no controle do produto, maior aproveitamento da planta industrial, aumento da produtividade e da segurança operacional. Além disso, com o advento dos sistemas de automação baseados em redes de campo e tecnologia digital, pode-se ter vários benefícios em termos de manutenção e aumento da disponibilidade do equipamento.

Conforme Seixas Filho (2000), na área de instrumentação a revolução ocorreu mais lentamente, pois era necessário dotar os instrumentos de mais inteligência e fazê-los se comunicar em rede. O padrão 4 a 20 mA para transmissão de sinais analógicos tinha que ceder lugar à transmissão digital. A princípio foi desenvolvido um protocolo denominado HART (*Highway Addressable Remote Transmitter*) que aproveitava o próprio cabeamento existente, fazendo transitar sinais digitais sobre sinais analógicos 4 a 20 mA. O HART é uma tecnologia híbrida de transição do modelo analógico para o digital que permanece até hoje em utilização.

Um dos protocolos de comunicação digitais utilizados em substituição ao sistema convencional de 4 a 20 mA é o PROFIBUS-PA, que 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 etc (CASSIOLATO, 2012).

Segundo Barata (2007), o PROFIBUS é hoje um dos padrões de rede mais empregados no mundo. Esta rede foi concebida em uma iniciativa conjunta de fabri-

cantes, usuários e do governo alemão. A rede está padronizada através da norma EN 50170 e EM50254.

7.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Esse estudo possui como finalidade a pesquisa sobre o protocolo de comunicação digital PROFIBUS-PA e, também, apresentar os instrumentos de processo que sejam compatíveis com tal tecnologia e substituam os instrumentos existentes em uma malha de instrumentação industrial com protocolo HART.

7.3 PROBLEMA

Com aproximadamente 13 anos de existência e instalada na cidade de São José dos Pinhais, a indústria química referência desse estudo possui em seu processo de fabricação uma planta de resina com capacidade de produção aproximada de 7.000 kg por batelada de produção, diferenciando-se entre resina de Uréia e Melamina. Em uma segunda etapa do processo, a resina é misturada com outros aditivos químicos que, posteriormente, farão parte do processo de impregnação de papel, onde teremos como produto final folhas de papel impregnadas com resina que se tornarão chapas decorativas para as indústrias moveleiras.

Para que o produto final atenda as especificações exigidas o sistema conta com uma malha de controle com protocolo HART. A falha de um instrumento mais crítico ao processo pode implicar em um prejuízo financeiro relativamente alto, devido à quantidade de matéria prima adicionada para a fabricação de uma batelada, que é de 7.000 kg, além dos custos com manutenção para recuperação do equipamento e o tempo de indisponibilidade da planta de resina para produção.

Nas últimas duas décadas novas tecnologias de redes de comunicação e controle industriais foram desenvolvidas, proporcionando uma maior eficiência e utilização dos equipamentos. Uma dessas tecnologias é a PROFIBUS-PA.

Para Berge Junior (2002) o uso de “*fieldbuses*” padrões (*PROFIBUS-PA* e *Foundation Fieldbus*) com equipamentos “inteligentes” habilita a maximização do potencial dos ativos de uma planta, onde os equipamentos de campo inteligentes são capazes de enviar informações sobre auto diagnósticos, *status*, tendências e alarmes.

Esse tipo de informação pode ser coletada e classificada por um sistema de gerenciamento de ativos que pode prever algumas situações indesejáveis. Dessa forma, o custo de manutenção corretiva pode ser reduzido, aumentando o ciclo de vida do ativo na planta de automação.

7.4 OBJETIVOS

7.4.1 Objetivo Geral

Realizar o estudo do protocolo de comunicação digital PROFIBUS-PA e apresentar as principais vantagens da utilização do mesmo em substituição a uma malha de instrumentação industrial com protocolo HART.

7.4.2 Objetivos Específicos

- Apresentar as principais características do protocolo HART;
- Apresentar as principais características da tecnologia PROFIBUS e PROFIBUS-PA;
- Identificar as principais etapas de instalações de equipamentos com o protocolo digital PROFIBUS-PA;
- Comparar as principais características técnicas do protocolo HART com o protocolo digital PROFIBUS-PA;
- Apresentar os principais equipamentos do protocolo HART existentes na planta de resina da empresa;
- Identificar os equipamentos da tecnologia PROFIBUS-PA para utilização na planta de resina.

7.5 JUSTIFICATIVA

No mercado atual globalizado, a automação industrial passou a ser item fundamental que permite ao empresário competir de maneira eficaz e sustentável e obter lucro.

Para Cassiolato et. al. (2012), as inovações na área de processo em si são poucas, ficando para a área de controle de processo a responsabilidade na redução dos custos do processo. O entendimento dos processos de inovação na área de sistemas digitais e de redes abertas pode ajudar a identificar as inovações que podem agregar valor à cadeia produtiva.

Nos últimos anos, com o avanço na eletrônica digital foram desenvolvidas novas ferramentas nas áreas de controle de processo e de manutenção que podem ser associadas com sistemas de comunicação baseados em protocolos abertos de redes industriais.

Conforme Chen e Mok (2001), os empresários viram-se obrigados a buscar tecnologias que conseguissem aumentar a agilidade e a eficiência das empresas e passaram a investir cada vez mais em sistemas capazes de gerenciar, supervisionar, controlar e proteger os processos industriais. Devido as crescentes exigências, o emprego de redes de supervisão e controle baseadas em protocolos de comunicação digital tem crescido nas mais variadas plantas industriais.

Cassiolato et. al. (2012) acredita que existem vantagens na utilização da tecnologia, PROFIBUS-PA, onde se destacam as vantagens funcionais (transmissão de informações confiáveis, tratamento de *status* das variáveis, sistema de segurança em caso de falha, equipamentos com capacidades de autodiagnose, rangeabilidade dos equipamentos, alta resolução nas medições, integração com controle discreto em alta velocidade, aplicações em qualquer segmento etc.) e, também, os benefícios econômicos pertinentes às instalações (redução de até 40% em alguns casos em relação aos sistemas convencionais), custos de manutenção (redução de até 25% em alguns casos em relação aos sistemas convencionais), menor tempo de *startup*, além de oferecer um aumento significativo em funcionalidade e segurança.

7.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para atingir os objetivos deste trabalho foi necessário realizar pesquisas em publicações de fabricantes de instrumentos PROFIBUS-PA, em livros, artigos técnicos e revistas técnicas na área de automação e redes industriais.

Após, a análise da instalação dos equipamentos da planta de resina com instrumentos PROFIBUS-PA, permite a comparação com o protocolo HART.

Essas ações caracterizam o trabalho em uma pesquisa exploratória, de natu-

reza aplicada e apoiada em um método comparativo.

7.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

No Capítulo 1 são apresentados o tema, as delimitações da pesquisa, o problema e a premissa, os objetivos da pesquisa, a justificativa, os procedimentos metodológicos.

No Capítulo 2 são apresentadas as características principais do protocolo HART, a tecnologia de comunicação digital PROFIBUS e PROFIBUS-PA.

No Capítulo 3 é apresentada a planta de resina com equipamentos HART;

No Capítulo 4 é apresentada a planta de resina com equipamentos PROFIBUS-PA, vantagens da instalação e comparativo entre os protocolos HART e PROFIBUS-PA;

As considerações finais e propostas de novos estudos são apresentadas no Capítulo 5.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

7.8 PROTOCOLO HART

O protocolo HART surgiu com a Fisher Rosemount em 1980. HART é o acrônimo de "*Highway Addressable Remote Transducer*". Em 1990 um grupo de usuários fundou o chamado *HART Users Group* que foi o começo do HART como um padrão aberto. Em junho de 1993, o *HART Users Group* tornou-se a *HART Communication Foundation* (HART COMMUNICATION FOUNDATION, 2010).

Uma grande vantagem desse protocolo é a possibilidade do uso de instrumentos inteligentes através dos cabos 4-20 mA tradicionais. A velocidade baixa de comunicação (1200 bps) permite que os cabos normalmente usados na instrumentação analógica possam ser mantidos. Os dispositivos que executam essa comunicação híbrida são denominados *smart* (SEIXAS FILHO, 2008).

O protocolo HART utiliza apenas a camada física, de enlace e de aplicação do modelo do sistema aberto de interconexão, *Open System Interconnection (OSI)*, de sete camadas, conforme Figura 1.

Camadas do modelo OSI	Camadas do protocolo HART
7- Aplicação	Comandos HART
6- Apresentação	
5- Sessão	
4- Transporte	
3- Rede	
2- Enlace	Regras do protocolo HART
1- Física	Padrão Bell 202

Figura 1 – Camadas do Modelo OSI utilizadas pelo protocolo HART
Fonte: Adaptado de SAMSON, 2010

A camada física especifica como os dispositivos serão conectados mecanicamente e eletricamente (tipo de cabo, distâncias, aterramento) e define de que forma o sinal digital será codificado, obedecendo ao padrão Bell 202.

A camada de enlace divide a informação a ser transmitida em pacotes, adiciona os *bits* referentes à detecção de erros e controla o acesso ao meio, sendo as regras do protocolo HART.

A camada de aplicação define os comandos HART, respostas, tipos de dados e decodifica os relatórios de *status* do instrumento.

O sinal HART é modulado por chaveamento em frequência (FSK, *Frequency Shift Key*) e é sobreposto ao sinal analógico de 4 a 20 mA. O sinal FSK é contínuo em fase, não impondo nenhuma interferência sobre o sinal analógico e a padronização obedece ao padrão Bell 202 *Frequency Shift Keying*. Para transmitir o nível lógico “1” (um) é utilizado um sinal de 1 mA de pico a pico na frequência de 1.200 Hz e para transmitir o nível lógico “0” (zero), a frequência de 2.200 Hz é utilizada (HART BOOK, 2008). A Figura 2 apresenta o sinal HART sobreposto ao sinal de 4 a 20 mA.

Este protocolo permite que, além do valor da variável de processo (PV, *Process Variable*), outros valores significativos sejam transmitidos, tais como parâmetros para o instrumento, dados de configuração do dispositivo, dados de calibração e diagnóstico (SEIXAS FILHO, 2008).

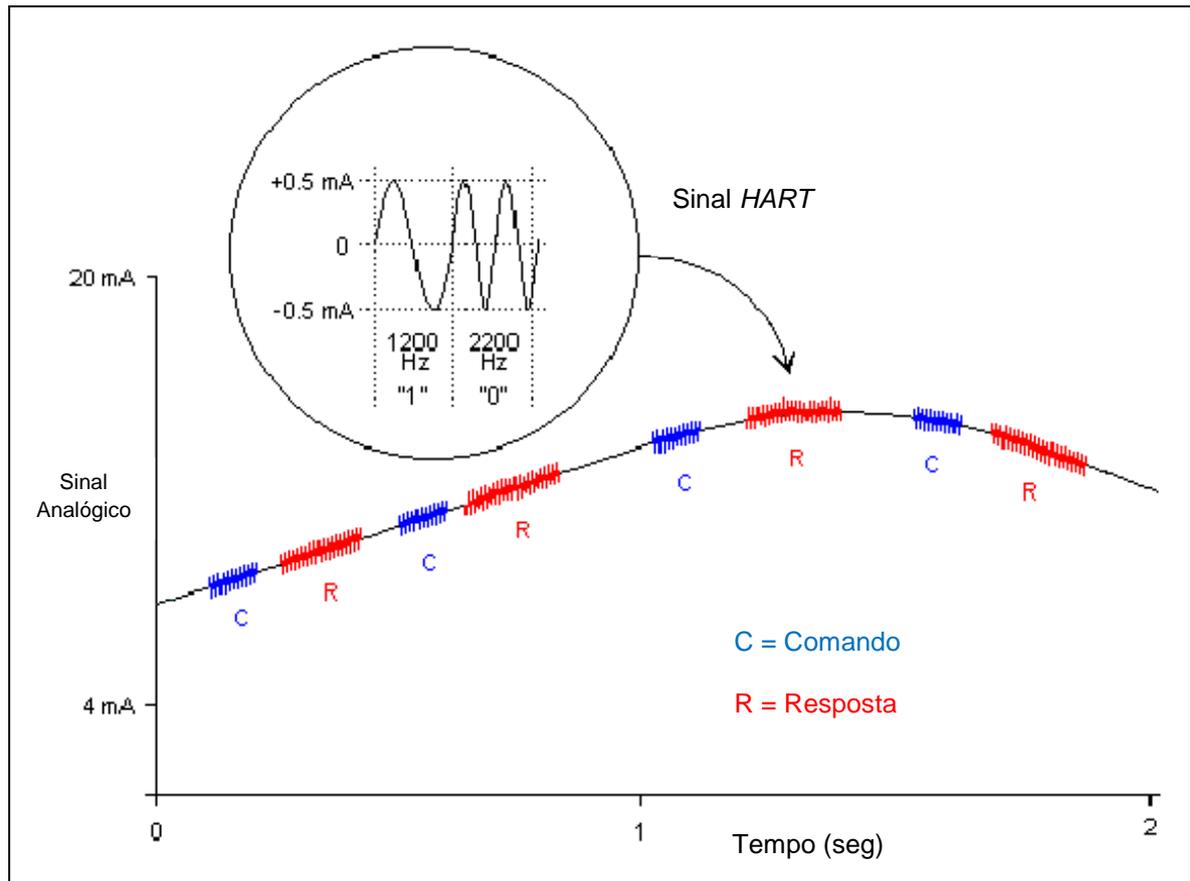


Figura 2 - Sinal HART sobreposto ao sinal 4 a 20 mA
 Fonte: Adaptado de SEIXAS FILHO, 2008

O protocolo HART pode utilizar diversos modos de comunicação. O modo básico é o mecanismo mestre-escravo, sendo que podem ser usados, também, dois mestres (primário e secundário) para se comunicar com um instrumento escravo em uma rede HART. Os mestres secundários, tais como os terminais portáteis de configuração, podem ser conectados normalmente em qualquer ponto da rede e se comunicar com os instrumentos de campo sem provocar distúrbios na comunicação com o mestre primário. A Figura 4 mostra a aplicação típica do protocolo HART em uma rede ponto a ponto, onde um computador obtém informações de uma válvula de controle (SMAR, 2009).

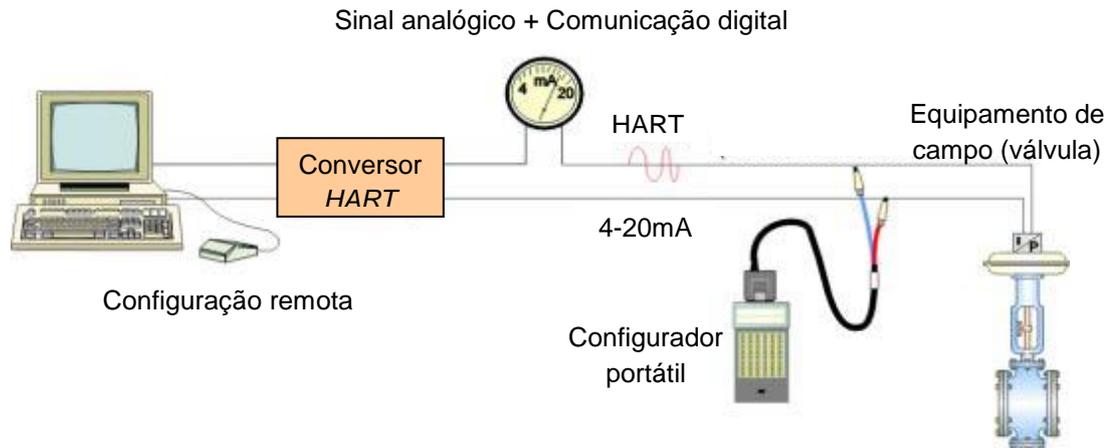


Figura 3 – Comunicação HART com dois mestres (primário e secundário) e um escravo.
Fonte: Adaptado de SMAR, 2009

O mestre primário pode ser um controlador lógico programável (CLP) ou um computador com uma interface serial HART (conversor HART) e o mestre secundário, geralmente, é um configurador portátil (*handheld*), como apresentado na Figura 3. Os mestres possuem os circuitos que provocam as variações de correntes na linha (modulador). Os escravos possuem circuitos que transformam estas variações de corrente em tensão e decodificam o sinal recebido (demodulador). Durante uma resposta os papéis são invertidos (FONSECA, 2009).

Na configuração ponto a ponto, a comunicação mestre/escravo digital, simultânea com o sinal analógico de 4 a 20 mA, permite que a informação digital proveniente do instrumento escravo seja atualizada duas vezes por segundo no mestre, ou seja, cada ciclo de pedido e recebimento de valor dura cerca de 500 ms. O sinal analógico de 4 a 20 mA é contínuo e carrega a variável primária para controle. A Figura 4 mostra a comunicação mestre/escravo digital, simultânea com o sinal analógico 4 a 20 mA, a mais comum (FONSECA, 2009).

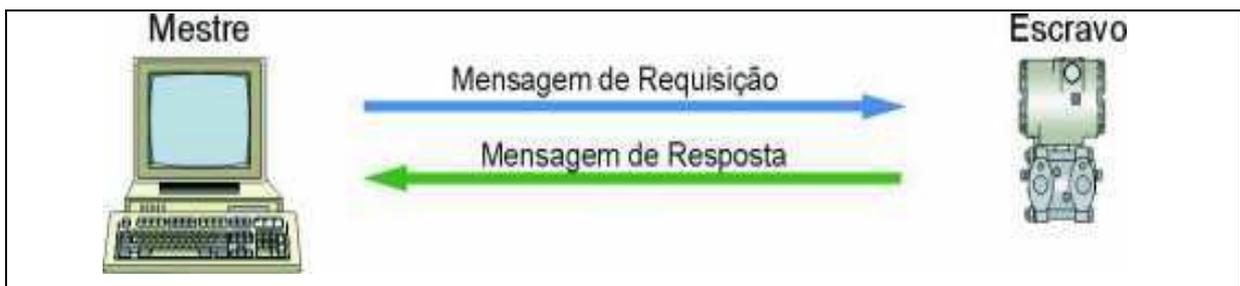


Figura 4 - Comunicação HART mestre-escravo na configuração ponto a ponto.
Fonte: SMAR, 2009

Um segundo mecanismo de transferência de dados utilizado é o denominado *burst* ou *broadcast mode*, como mostra a Figura 5. Neste, o instrumento pode enviar uma variável (por exemplo, a variável primária) de forma autônoma e periódica. No intervalo entre os envios, o mestre pode executar um ciclo de pergunta e resposta. A taxa de transmissão nesse caso se eleva para três ou quatro ciclos por segundo. O mestre pode, a qualquer momento, enviar uma mensagem para interromper este envio contínuo de mensagens de *reply* (resposta), de acordo com sua conveniência. O modo *burst* libera o mestre de ficar repetindo um comando de solicitação para atualizar a informação da variável de processo (FONSECA, 2009).

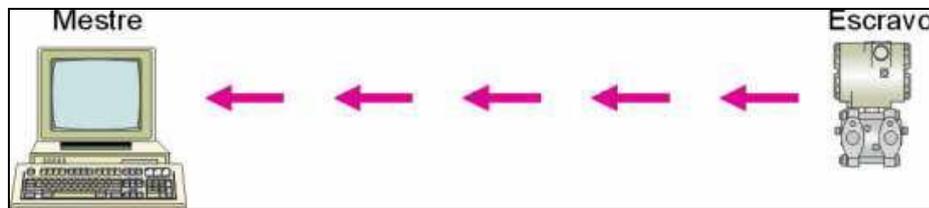


Figura 5 – Modo *Burst* ou *Broadcast*
Fonte: SMAR, 2009

O protocolo HART tem a capacidade de conectar até 15 (quinze) instrumentos de campo pelo mesmo par de fios em uma configuração *multidrop*, como mostrado na Figura 6. Neste tipo de aplicação, o sinal de corrente é fixo, ficando somente a comunicação digital limitada ao mestre-escravo. O valor da corrente de cada instrumento escravo é mantido no seu nível mínimo de 4 mA e o valor da variável de processo (PV) deve ser lido através de uma mensagem explícita. A grande deficiência desse tipo de configuração é que o tempo de ciclo para leitura de cada instrumento é de cerca de 500 ms podendo alcançar 1.000 ms. Para o caso de 15 equipamentos, o tempo será de 7,5 s a 15 s, o que é muito lento para grande parte das aplicações.

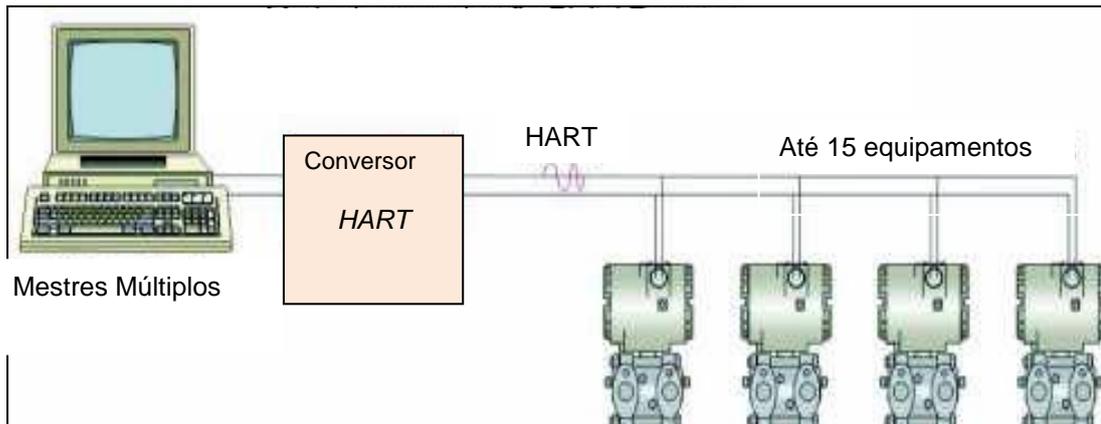


Figura 6 – Configuração *multidrop*
Fonte: SMAR, 2009

A estrutura da mensagem de um sinal *HART* digital é apresentada na Figura 7 (MATTA, 2010).

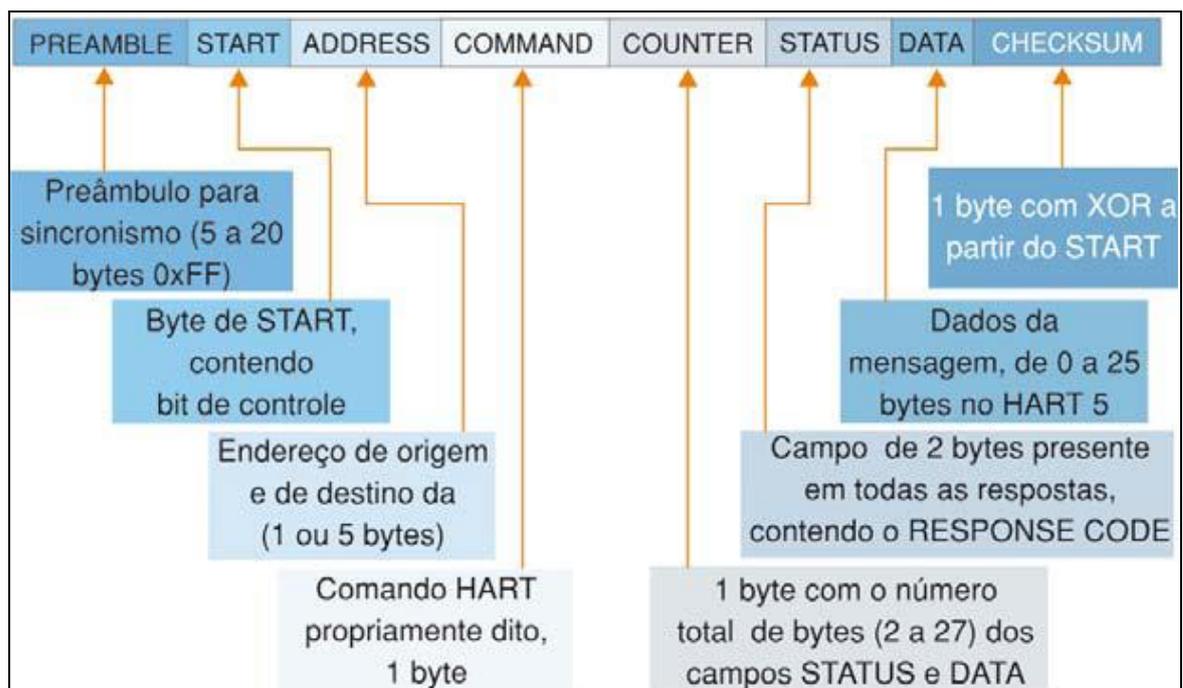


Figura 7 - Estrutura da mensagem *HART*
Fonte: MATTA, 2010

Segundo Matta (2010), existe um controle restrito sobre o intervalo entre caracteres. Caso o intervalo entre os *bytes* de uma mensagem seja maior que o tempo de um *byte* (11 *bits* a 1200 bps, ou seja aproximadamente 10 ms), um erro de comunicação é gerado descartando a mensagem.

Conforme a Figura 7 a estrutura da mensagem *HART* é composta por (MATTA, 2010):

a) Campo Preâmbulo (*PREAMBLE*):

O campo preâmbulo possui entre 5 e 20 *bytes* em hexadecimal (todos 1 (um)). Essa seqüência é necessária no início de cada mensagem para sincronizar o modem receptor. O número de *bytes* do preâmbulo pode variar em função do tipo de equipamento e da instalação, não sendo menor que 5 nem maior que 20.

b) Caractere de início (*START*):

Este *byte* tem diversas funções, indicando o tipo de endereçamento usado, a origem e destino da mensagem e se é uma mensagem no modo *Burst*, conforme Quadro 1. O equipamento aguarda a presença do caractere *byte* de *START* após, pelo menos dois preâmbulos (0xFF), o que caracteriza o início da mensagem (*SOM*, *Start of Message*). Após esse evento, é verificado o campo de endereço (*Address*).

Mensagem	Endereço Curto	Endereço Longo
Mestre para o Escravo	0x02	0x82
Escravo para o mestre	0x06	0x86
<i>Burst</i> do escravo para o mestre	0x01	0x81

Quadro 1 - Caractere de início (*START*).

Fonte: Adaptado de MATTA, 2010

No Quadro 1, verifica-se que os modos de endereçamento podem ser curto e longo. Na versão 4 do protocolo HART, todos os equipamentos usavam apenas o endereço curto, composto de um *byte*. Nesse formato, o endereço “0” (zero) era destinado para equipamentos conectados ponto a ponto, enquanto que os endereços de “1” (um) a “15” (quinze) eram reservados para equipamentos na configuração *multi-drop*.

O endereço de um *byte* é conhecido como *polling address* (endereço de votação). A partir da versão 5 do protocolo HART, os equipamentos passaram a suportar também o chamado modo de endereçamento longo, que faz uso de um identificador universal (UID, *Universal Identifier*) formado por cinco *bytes*, conforme Quadro 3.

UID (<i>Universal Identifier</i> ou endereço longo)		
Número de identificação do fabricante (<i>Manufacture Code</i>) (6 bits)	Tipo do equipamento (<i>Device Type</i>) (8 bits)	Número de identificação do equipamento (<i>Device Identification Number</i>) (24 bits)

Quadro 2 - Identificador universal (UID).

Fonte: Adaptado de MATTA, 2010

Cada fabricante recebe, ao se registrar na *HART Foundation* (HART, 2010), um número de identificação único (*Manufacture Code*) de seis *bits*, sendo que serão, no máximo, 64 fabricantes. Cabe ao fabricante garantir a unicidade dos demais quatro *bytes* do UID.

No Quadro 2, o tipo do equipamento (*Device Type*) indica, por exemplo, se é um transmissor de pressão ou um posicionador de válvula e o número de identificação do equipamento (*Device Identification Number*), normalmente é o número de série do equipamento.

O mestre HART deve implementar os dois tipos de endereçamento, o curto e o longo. Os equipamentos de campo (escravos) devem garantir que pelo menos o comando #0 suporte os dois endereços.

c) Campo endereçamento ou campo de endereço (*ADDRESS*):

O campo de endereço contém o endereço de origem e de destino, seja no formato curto com um *byte* ou no longo com cinco *bytes* conforme Quadro 3. Em ambos, o *bit* mais significativo (MA) representa o endereço do mestre, sendo “1” (um) para o primário e “0” (zero) para o secundário.

As mensagens no modo *burst* são uma exceção, uma vez que esse *bit* alterna entre “0” (zero) e “1” (um) para dar a cada mestre a chance de interromper a comunicação. O *bit* seis, menos significativo (BM), indica se a mensagem vem de um equipamento com modo *burst* ativado. Para o endereço curto, seguem-se dois *bits* “0” (zero) e os demais quatro *bits* indicam o endereço (PA) do equipamento de campo. Para o endereçamento longo, após o *bit* menos significativo (BM), seguirá o identificador universal (UID) (MATTA, 2010).

MA	BM	0	0	PA (4 Bits)
Endereço curto (8 bits)				

MA	BM	UID (38 bits)
Endereço longo (40 bits)		

Quadro 3 - Campo de endereço.

Fonte: Adaptado de MATTA, 2010

Caso a mensagem não seja endereçada ao equipamento, ele pode abortar o recebimento do *frame* e aguardar por outro início da mensagem (SOM, *Start of Message*) ou até mesmo receber o comando para fins de diagnóstico baseado em estatísticas de comunicação.

d) *Byte* de Comando HART (*COMMAND*):

O comando HART é um *byte* de 0x00 a 0xFD representando um dos comandos suportados pelo equipamento. O comando recebido pelo equipamento de campo é sempre devolvido na sua resposta.

e) Contador de *byte* (*BYTE COUNT*):

Esse campo contém o número de *bytes* dos campos código de resposta (*status* ou *response code*) e dado (*data*). O receptor usa-o para saber quando a mensagem está completa, uma vez que não existe o caractere especial “fim de mensagem” (FONSECA, 2009).

f) Código de resposta (*STATUS* ou *RESPONSE CODE*):

Esse campo é incluído em todas as respostas para o mestre, conforme Quadro 4. É composto de dois *bytes*: o primeiro indica o resultado do comando recebido na mensagem e o segundo, o estado operacional do equipamento no instante (MATTA, 2010).

Código de resposta (<i>status</i> ou <i>response code</i>)	
Primeiro <i>Byte</i>	Segundo <i>Byte</i>
Erro de comunicação ou resultado do comando	Estado operacional do equipamento

Quadro 4 - Código de resposta (*status* ou *response code*).

Fonte: Adaptado de MATTA, 2010

Ao analisar o primeiro *byte* do código de resposta, se o sétimo *bit* estiver em “1” (um), ocorreu algum erro no recebimento da mensagem, porém é possível identificar a origem e enviar a resposta com o erro. Nesse caso, os *bits* restantes do pri-

meio *byte* indicam quais os erros detectados e o segundo *byte* é sempre “0” (zero). Se o sétimo *bit* é “0” (zero), o comando recebido foi processado e os *bits* restantes do primeiro *byte* contêm a indicação do processamento do comando, ou seja, o resultado do comando. Os Quadros 5 e 6 apresentam o detalhamento de cada *bit* do código de resposta (*status ou response code*). (MATTA, 2010).

Na hipótese de não ter ocorrido erro de comunicação (primeiro *byte* = 0x00), o segundo *byte* do código de resposta (*status ou response code*) contém o estado operacional do equipamento naquele instante, podendo indicar uma condição de defeito, conforme a codificação apresentada no Quadro 7 (MATTA, 2010).

<i>Bit 7</i> = '1' indicando erro de comunicação		
<i>Bit 6</i>	0xC0	Erro de paridade
<i>Bit 5</i>	0xA0	Perda de caractere
<i>Bit 4</i>	0x90	Erro de <i>frame</i>
<i>Bit 3</i>	0x88	Erro de <i>checksum</i>
<i>Bit 2</i>	0x84	0 (reservado)
<i>Bit 1</i>	0x82	<i>Buffer</i> do receptor encheu
<i>Bit 0</i>	0x81	Não definido

Quadro 5 – Significado dos *bits* do código de resposta quando ocorrer erro de comunicação.
Fonte: Adaptado de MATTA, 2010

<i>Bit7</i> = '0' indicando que o comando foi recebido sem erro	
<i>Bit 0</i>	Nenhum erro na execução do comando
<i>Bit 1</i>	Indefinido
<i>Bit 2</i>	Seleção inválida
<i>Bit 3</i>	Parâmetro recebido muito grande
<i>Bit 4</i>	Parâmetro recebido muito pequeno
<i>Bit 5</i>	Numero de <i>bytes</i> recebidos é insuficiente
<i>Bit 6</i>	Erro específico do equipamento (depende do fabricante)
<i>Bit 7</i>	Equipamento bloqueado para escrita
<i>Bit 8 a 15</i>	Múltiplos significados de acordo com o comando
<i>Bit 16</i>	Acesso restrito
<i>Bit 28</i>	Diversos significados em função do comando
<i>Bit 32</i>	Equipamento está ocupado e não pode processar o comando. Tente novamente
<i>Bit 64</i>	Comando não implementado

Quadro 6 – Significado dos *bits* do código de resposta quando não ocorrer erro de comunicação.
Fonte: Adaptado de MATTA, 2010

Estado Operacional (<i>Byte2</i>)			Ação sugerida
<i>Bit7</i>	0x80	Defeito no equipamento	Manutenção imediata no equipamento enquanto ele ainda está se comunicando. A causa do erro varia com o equipamento e fabricante.
<i>Bit6</i>	0x40	Configuração alterada	Um configurador portátil provavelmente alterou algum parâmetro não volátil no campo. O mestre primário deve verificar a atualizar sua base de dados enviando em seguida o comando #38 para zerar esse <i>bit</i> , que é fundamental para os sistemas de manutenção e gerenciamento de ativos.
<i>Bit5</i>	0x20	Processador reiniciado	Verificar ocorrências intermitentes para acionar manutenção se necessário. Consultar o manual do fabricante.
<i>Bit4</i>	0x10	Mais <i>status</i> disponível	O mestre primário deve ler o <i>status</i> adicional com o comando #48 e interpretar de acordo com a documentação do equipamento. Este <i>bit</i> é indispensável para os sistemas de diagnósticos, manutenção e gerenciamento de ativos.
<i>Bit3</i>	0x08	Saída analógica fixa	Duas causas prováveis: ou o equipamento está em modo <i>multidrop</i> ou o equipamento está em modo de teste do sinal de corrente. No primeiro caso, deve ser configurado para o endereço "0" e no segundo caso, deve sair de modo de teste ou então ser desligado ou religado em seguida.
<i>Bit2</i>	0x04	Saída analógica saturada	A saída analógica está fixa no limite ou no máximo. A causa do erro deve ser consultada na documentação do equipamento.
<i>Bit1</i>	0x02	Variável não-primária fora dos limites	Alguma das variáveis medidas (exceto a PV) está fora dos limites configurados. Um medidor de pressão normalmente mede também a temperatura ambiente para corrigir a pressão medida. Esse erro pode sinalizar que o sensor apresenta problemas ou a temperatura ambiente está realmente fora dos limites de operação do equipamento.
<i>Bit0</i>	0x01	Variável primária fora dos limites	A PV está fora dos limites configurados, o que pode indicar uma falha no processo (controlador, outros equipamentos de malha etc.). Caso o equipamento não apresente problemas, deve-se verificar completamente a malha.

Quadro 7 - Codificação dos defeitos do segundo *byte* do código de resposta

Fonte: Adaptado de MATTA, 2010

g) Campo de Dados (*DATA*):

Esse campo pode estar presente ou não, dependendo do comando em particular. O comprimento máximo recomendado é de 25 *bytes* na versão 5 do protocolo HART, para manter uma duração global de mensagem razoável (FONSECA, 2009).

h) Campo *CHECKSUM*:

Esse campo contém um "ou exclusivo" (XOR) ou "paridade longitudinal" de todos os *bytes* anteriores do caractere de início (*START*) em diante, junto com o *bit* paridade anexado a cada *byte*, e é usado para detectar erros na comunicação (FONSECA, 2009).

7.9 PROTOCOLO PROFIBUS

A tecnologia da informação tem sido determinante no desenvolvimento da tecnologia da automação. A capacidade de comunicação entre dispositivos e o uso de mecanismos padronizados, abertos e transparentes são componentes indispensáveis do conceito de automação de hoje (CASSIOLATO, 2012).

A comunicação vem se expandindo rapidamente no sentido horizontal nos níveis inferiores (*field level*), assim como no sentido vertical integrando todos os níveis hierárquicos. De acordo com as características da aplicação e do custo máximo a ser atingido, uma combinação gradual de diferentes sistemas de comunicação, tais como *Ethernet*, PROFIBUS e *AS-Interface*, oferece as condições ideais de redes abertas em processos industriais conforme a Figura 8 (PROFIBUS, 2000).

Cassiolato et. al. (2012) afirma que no nível de campo, a periferia distribuída, tais como módulos de entrada/saída (E/S), transdutores, acionamentos, válvulas e painéis de operação, comunicam-se com sistemas de automação via um eficiente sistema de comunicação em tempo real, o PROFIBUS-DP ou PROFIBUS-PA. A transmissão de dados do processo é efetuada ciclicamente, enquanto alarmes, parâmetros e diagnósticos são transmitidos aciclicamente, somente quando necessário.

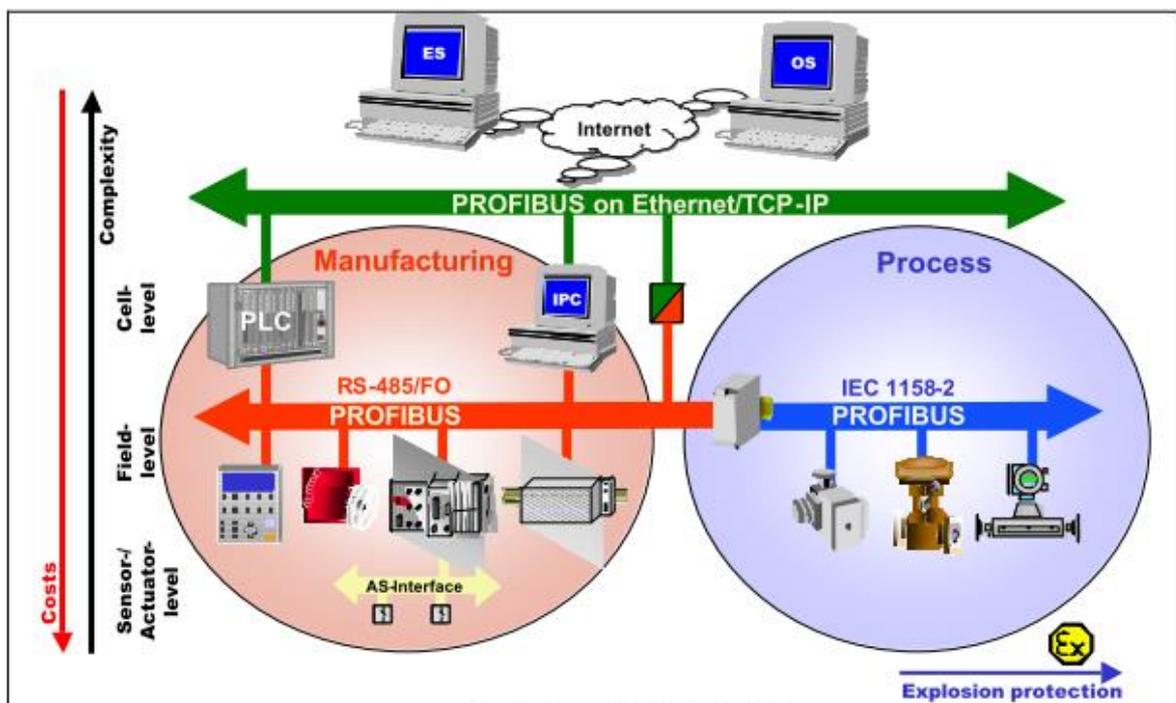


Figura 8 – Comunicação Industrial.
Fonte: PROFIBUS (2000).

A revolução da comunicação industrial na tecnologia da automação está revelando um enorme potencial na otimização de sistemas de processo e tem feito uma importante contribuição na direção da melhoria no uso de recursos (PROFIBUS, 2000).

7.9.1 Tecnologia PROFIBUS

O protocolo PROFIBUS surgiu em 1987 na Alemanha, a partir da colaboração de 15 empresas e 5 institutos de pesquisa financiados pelo governo alemão, com a contribuição de indústrias como Siemens, Bosh e Klocker-Moeller. Em 1991, os resultados desses trabalhos deram origem à publicação da norma DIN 19254 (BRANDÃO, 2005).

Conforme a Associação PROFIBUS (2000), o protocolo PROFIBUS é um padrão aberto FIELDBUS que tem aplicação em processos, manufatura e automação e é consolidado pela norma IEC 61158. A arquitetura do PROFIBUS possui três variantes: PROFIBUS-DP (*Decentralized Periphery*), PROFIBUS-FMS (*Field Message Specification*) e PROFIBUS-PA (*Process Automation*), essa última é usada para automação de processos.

Cassiolato et. al. (2012) afirma que o PROFIBUS é um padrão de rede de campo aberto e independente de fornecedores, onde a interface permite uma ampla aplicação em processos, manufatura e automação predial. Esse padrão é garantido segundo a norma EN 50170 e EN 50254.

Conforme a Associação PROFIBUS, desde janeiro de 2000, o PROFIBUS foi firmemente estabelecido com a IEC 61158, ao lado de mais sete outros fieldbuses e está dividida em sete partes, nomeadas 61158-1 a 61158-6, nas quais estão as especificações segundo o modelo *Open Systems Interconnection* (OSI).

Mundialmente, os usuários podem agora se referenciar a um padrão internacional de protocolo aberto, cujo desenvolvimento procurou e procura a redução de custos, flexibilidade, confiabilidade, segurança, orientação ao futuro, atendimento as mais diversas aplicações, interoperabilidade e múltiplos fornecedores (CASSIOLATO, 2012).

7.9.2 Tecnologia PROFIBUS-DP

O PROFIBUS-DP foi projetado para comunicação de dados em alta velocidade no nível de dispositivo. Os controladores centrais (por exemplo: Controlador Lógico Programável/Computador (CLP/PC) comunicam com seus dispositivos de campo distribuídos: entradas/saídas (E/S's), acionamentos, válvulas, etc., via um *link serial* de alta velocidade (PROFIBUS, 2000).

A maior parte desta comunicação de dados com os dispositivos distribuídos é feita de uma maneira cíclica. As funções necessárias para estas comunicações são especificadas pelas funções básicas do PROFIBUS-DP, conforme EN 50 170. Além da execução destas funções cíclicas, funções de comunicação não cíclicas estão disponíveis especialmente para dispositivos de campo inteligentes, permitindo assim configuração, diagnóstico e manipulação de alarmes (ESTECA e CAIRES, 2006).

O controlador central (mestre) lê ciclicamente a informação de entrada dos escravos e escreve também ciclicamente a informação de saída nos escravos. O tempo de ciclo do bus é geralmente mais curto que o tempo de ciclo do programa do PLC, que em muitas aplicações é em torno de 10 ms. Além da transmissão cíclica de dados de usuário, PROFIBUS-DP proporciona funções poderosas de diagnóstico e configuração (PROFIBUS, 2000).

A comunicação de dados é controlada por funções de monitoração tanto no mestre, como no escravo. O Quadro 8 proporciona um resumo das funções básicas do PROFIBUS-DP.

Tecnologia de transmissão
RS-485 (par trançado cabo de dois fios) ou Fibra Ótica;
<i>Baudrate</i> : 9.6 kbit/sec a 12 Mbit/sec;
Acesso ao Bus
Procedimento de passagem de <i>token</i> entre mestres e procedimento de mestre-escravo para escravos;
Possível sistema mono-mestre ou multi-mestre;
Dispositivos mestre e escravo, máximo de 126 estações em um barramento de comunicação;
Comunicação
<i>Peer-to-peer</i> (transmissão de dados de usuário) ou <i>Multicast</i> (comandos de controle)
Transmissão de dados do usuário mestre-escravo cíclica e transmissão de dados não cíclica mestre-mestre;
Modos de Operação
<i>Operate</i> : Transmissão cíclica de entrada e saída de dados;
<i>Clear</i> : Entradas são lidas, e saídas são mantidas em estado seguro;
<i>Stop</i> : Transmissão de dados só é possível em mestre-mestre;
Sincronização
Comandos de controle permitem sincronização de entradas e saídas;
<i>Sync mode</i> : Saídas são sincronizadas;
<i>Freeze mode</i> (modo de congelamento): Entradas são sincronizadas;
Funcionalidade
Transmissão de dados cíclica entre mestre DP e escravo(s) DP;
Ativação ou desativação dinâmica de escravos individualmente;
Verificação da configuração do escravo DP;
Poderosas funções de diagnóstico, 3 níveis hierárquicos de mensagens de diagnósticos;
Sincronização de entradas e/ou saídas;
Designação de endereços para escravos DP via o barramento;
Configuração de mestre DP (DPM1) sobre o <i>bus</i> ;
Máximo de 246 <i>bytes</i> de entrada e saída por escravo DP;
Funções de segurança e proteção
Todas mensagens são transmitidas com <i>Hamming distance</i> HD=4;
<i>Watchdog timer</i> no escravo DP;
Proteção de acesso para I/O dos escravos DP;
Monitoração da transmissão de dados com temporizador configurável pelo Mestre;
Tipos de dispositivos
<i>Class-2 DP master</i> (DPM2) : programação/configuração/DP diagnóstico de dispositivos;
<i>Class-1 DP master</i> (DPM1) : controlador programável central tais como PLCs, PCs, etc;
<i>DP slave</i> : dispositivo com I/O binário ou analógico, acionamentos, válvulas, etc;

Quadro 8 - Funções básicas do PROFIBUS-DP

Fonte: PROFIBUS (2000).

O PROFIBUS-DP requer aproximadamente 1 ms a 12 Mbit/sec para a transmissão de 512 *bits* de dados de entrada e 512 *bits* de dados de saída distribuídos em 32 estações. A Figura 9 mostra o tempo típico de transmissão do PROFIBUS-DP em função do número de estações e da velocidade de transmissão. O significativo aumento da velocidade em comparação com o PROFIBUS-FMS deve-se principalmente ao uso do serviço SRD (Envia e Recebe Dados) da camada 2 para transmis-

são de entrada/saída de dados num único ciclo de mensagem. (ESTECA e CAIRES, 2006).

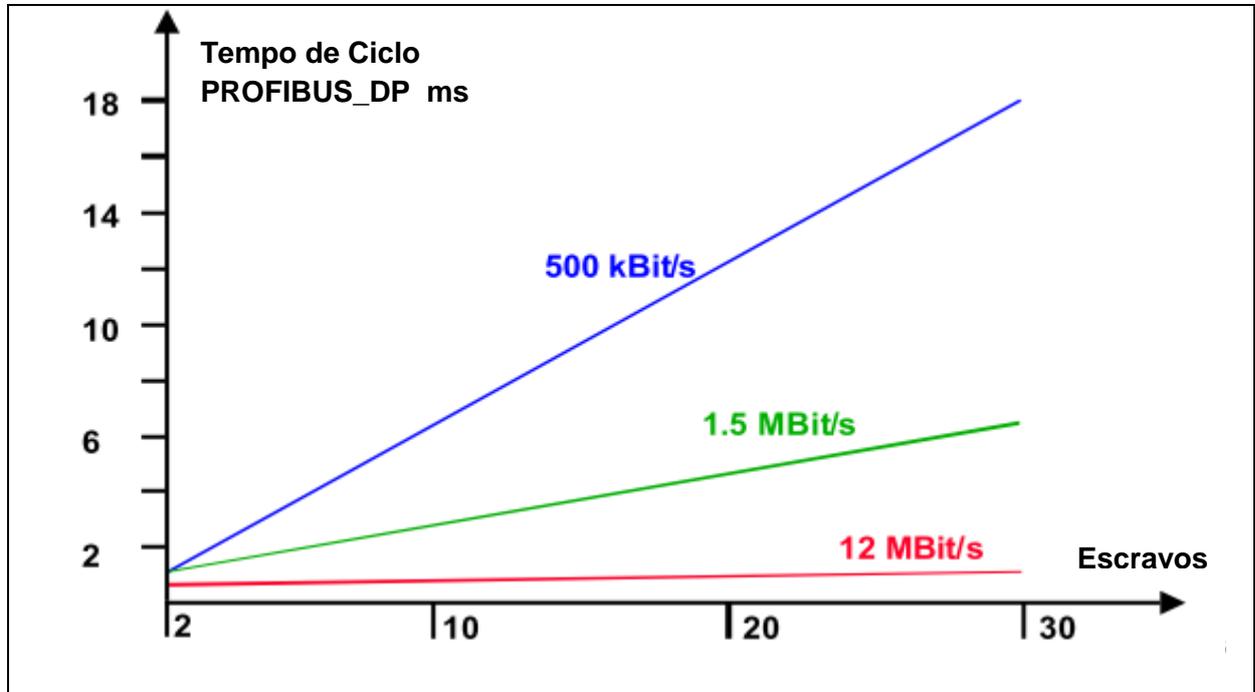


Figura 9 – Tempo de ciclo de um sistema PROFIBUS-DP mono-master.
Fonte: PROFIBUS (2000).

As várias funções de diagnósticos do PROFIBUS-DP permitem a rápida localização de falhas. As mensagens de diagnósticos são transmitidas ao barramento e coletadas no mestre. Estas mensagens são divididas em três níveis:

- Diagnósticos de Estação: estas mensagens ocupam-se com o estado operacional geral da estação (por exemplo: alta temperatura ou baixa tensão).
- Diagnósticos de Módulo: estas mensagens indicam que existe uma falha em um I/O específico (por ex.: o *bit* 7 do módulo de saída) de uma estação.
- Diagnósticos de Canal: estas mensagens indicam um erro em um *bit* de I/O (por ex.: curto-circuito na saída 7).

7.9.3 Tecnologia PROFIBUS-FMS

O perfil de comunicação FMS foi projetado para a comunicação no nível de células. Neste nível, controladores programáveis (CLP's ou PC's) comunicam-se uns com outros. Nesta área de aplicação, mais importante que um sistema com tempos de reação rápida é um sistema com uma diversidade grande de funções disponíveis (ESTECA e CAIRES, 2006).

A camada de aplicação (7) do FMS é composta das seguintes partes:

- FMS: Fieldbus Message Specification
- LLI: Lower Layer Interface

A Associação PROFIBUS (2000) acredita que o modelo de comunicação PROFIBUS-FMS possibilita que aplicações distribuídas sejam unificadas em um processo comum através do uso de relacionamentos de comunicação. A parte da aplicação situada no dispositivo de campo que pode ser acessada via comunicação é denominada de dispositivo virtual de campo *virtual field device* (VFD). A Figura 10 mostra a relação entre um dispositivo real e virtual. Neste exemplo somente determinadas variáveis (isto é, número de unidades, taxa de falhas e paradas) são parte do dispositivo de campo virtual e podem ser acessadas via uma relação de comunicação. As variáveis “valor desejado” (setpoint) e “receita” (recipe) não estão disponíveis neste caso.

Ainda a mesma Associação PROFIBUS (2000) informa que todos os objetos de comunicação de um dispositivo FMS são registrados em um dicionário de objetos (OD). O dicionário contém descrição, estrutura e tipo de dados, assim como a associação entre os endereços internos do dispositivo do objeto de comunicação e sua denominação no barramento (índice/nome).

Objetos de comunicação estática são registrados no dicionário de objetos estáticos e são configurados um única vez e não podem ser modificados durante a operação. FMS reconhece cinco tipos de objetos de comunicação.

- variáveis simples;
- matriz (*array*): série de simples variáveis do mesmo tipo;
- registro (*record*): série de variáveis simples de diferentes tipos;

- domínio (*domain*) ;
- evento (*event message*);

Objetos de comunicação dinâmica são registrados na seção dinâmica do dicionário de objetos. Estes podem ser modificados durante a operação.

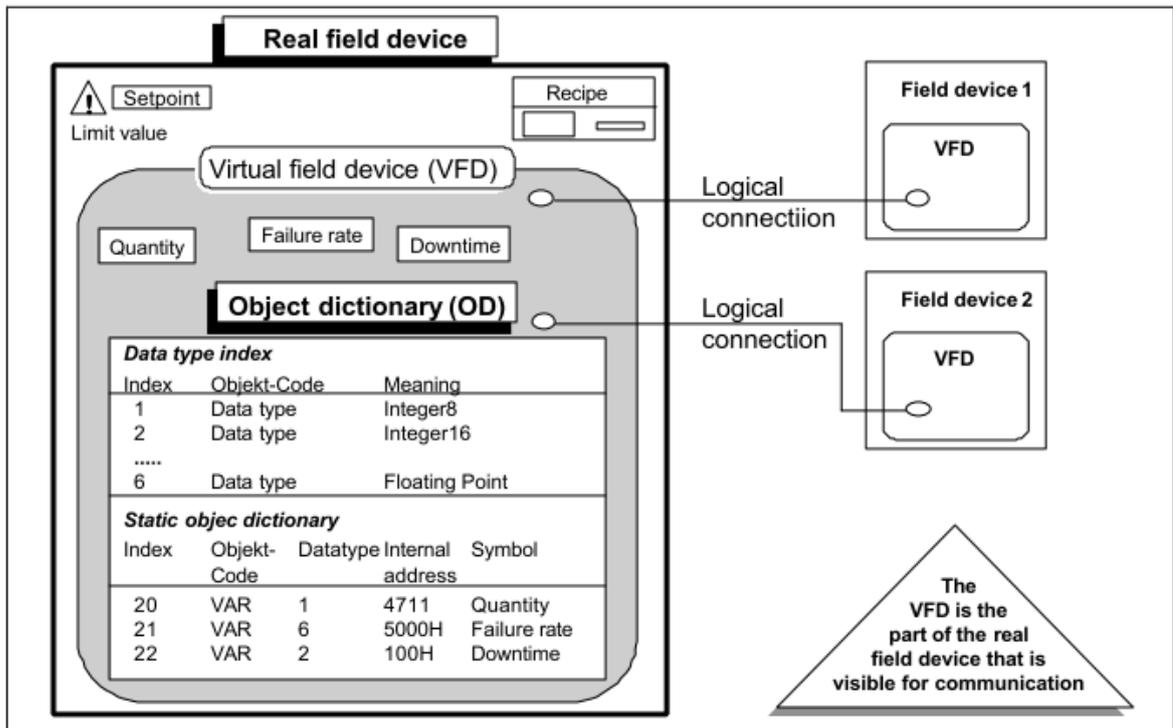


Figura 10 – Dispositivo Virtual de Campo, *virtual field device* (VFD) e Dicionário de Objetos, *object dictionary* (OD) .

Fonte: PROFIBUS (2000).

Esteca e Caires (2006) afirmam que o endereçamento lógico é o método preferido de endereçamento de objetos. O acesso é realizado com um endereço curto (índice) que é um número inteiro sem sinal e cada objeto possui um único índice e opcionalmente podem-se endereçar os objetos pelo nome.

Objetos de comunicação podem também ser protegidos do acesso não autorizado através da proteção de acesso, ou os serviços de acesso é que podem ser restringidos (por ex. somente leitura).

7.9.4 Tecnologia PROFIBUS-PA

Conforme Cassiolato et. al. (2012) o uso do PROFIBUS em dispositivos e aplicações típicas de automação e controle de processos é definido pelo perfil PA. Ele é baseado no perfil de comunicação DP e dependendo do campo de aplicação, os meios de comunicação: IEC 61158-2, RS-485 ou fibra ótica podem ser usados, conforme a Figura 11.

O perfil PA define os parâmetros dos dispositivos e o comportamento de dispositivos típicos, tais como transmissores de variáveis, posicionadores e etc. Esse protocolo é independente do fabricante, facilitando assim a intercambiabilidade do dispositivo e a total independência do fabricante.

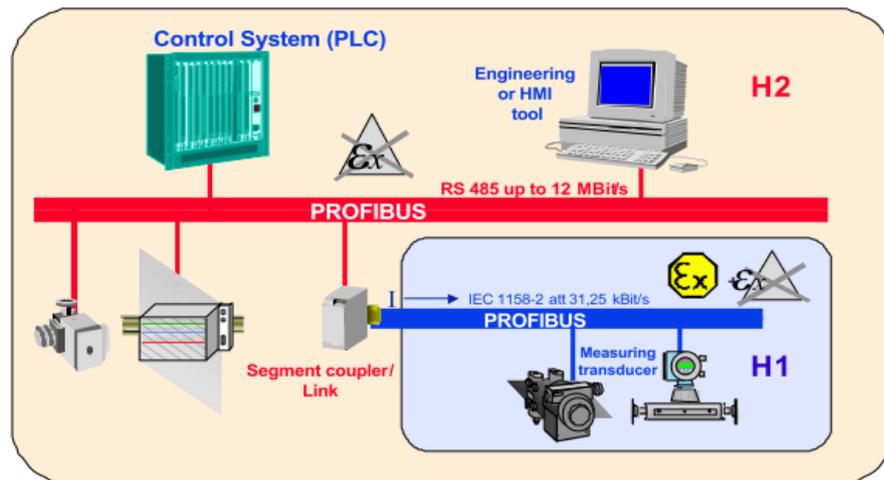


Figura 11 – Configuração típica de um sistema em automação de processo. Fonte: PROFIBUS (2000).

O perfil PROFIBUS-PA foi desenvolvido em cooperação conjunta com os usuários da indústria de processos e possui as seguintes características de trabalho (PROFIBUS, 2000):

- perfil de aplicação padronizado para automação e controle de processo e intercambiabilidade de dispositivos de campo entre diferentes fabricantes;
- inserção e remoção de estações (dispositivos), mesmo em áreas intrinsecamente seguras, sem influenciar outras estações;
- alimentação dos dispositivos tipo transmissores, executada via o próprio barramento, conforme o padrão IEC 61158-2;

- possibilidade de uso em áreas potencialmente explosivas com proteções do tipo intrínseca (Ex ia/ib)¹ ou encapsulada (Ex d)²;

7.9.4.1 Meio Físico

Conforme PROFIBUS-PA (2009) o perfil PA é um protocolo de comunicação digital bidirecional, que permite a interligação em rede de vários equipamentos diretamente no campo, realizando funções de aquisição e atuação, assim como a monitoração de processos e estações interface homem maquina (IHM) através de *softwares* supervisórios. É baseado no sistema aberto de interconexão, *Open System Interconnection* (OSI), onde se têm as seguintes camadas: Camada Física (*Physical Layer*), Camada de Interface dos Dados (*Data Link Layer*) e Interface do Usuário (*User Application*). Pode-se citar ainda, em termos de aplicação, os modelos baseados em Blocos Funcionais (*Function Blocks*) e Descrição de Dispositivos (*Device Descriptions*), garantindo a interoperabilidade.

A camada física (conhecida como PA ou H1) é definida segundo padrões internacionais (IEC e ISA). Este recebe mensagens da Camada de Interface dos Dados e as converte em sinais físicos no meio de transmissão FIELDBUS e vice-versa, incluindo e removendo preâmbulos, delimitadores de começo e fim de mensagens (PROFIBUS-PA 2009).

O meio físico é baseado na IEC 61158-2, com as seguintes características:

- Transferência de dados usando codificação *Manchester*, com taxa de 31,25 kbit/s, conforme a Figura 12 e 13.

¹ Exi, equipamento projetado com dispositivos ou circuitos que em condições normais ou anormais de operação não possuem energia suficiente para inflamar uma atmosfera explosiva. Intrinsecamente seguro: Aplicável em zona 0 ou 20 (ia, ib ou ic), zona 1 ou 21 (ib ou ic) e zona 2 ou 22 (ic).

² Equipamentos fabricados de maneira a impedir que a atmosfera explosiva possa entrar em contato com as partes que gerem esses riscos. Exd, à prova de explosão: Aplicável em zonas 1 e 2.

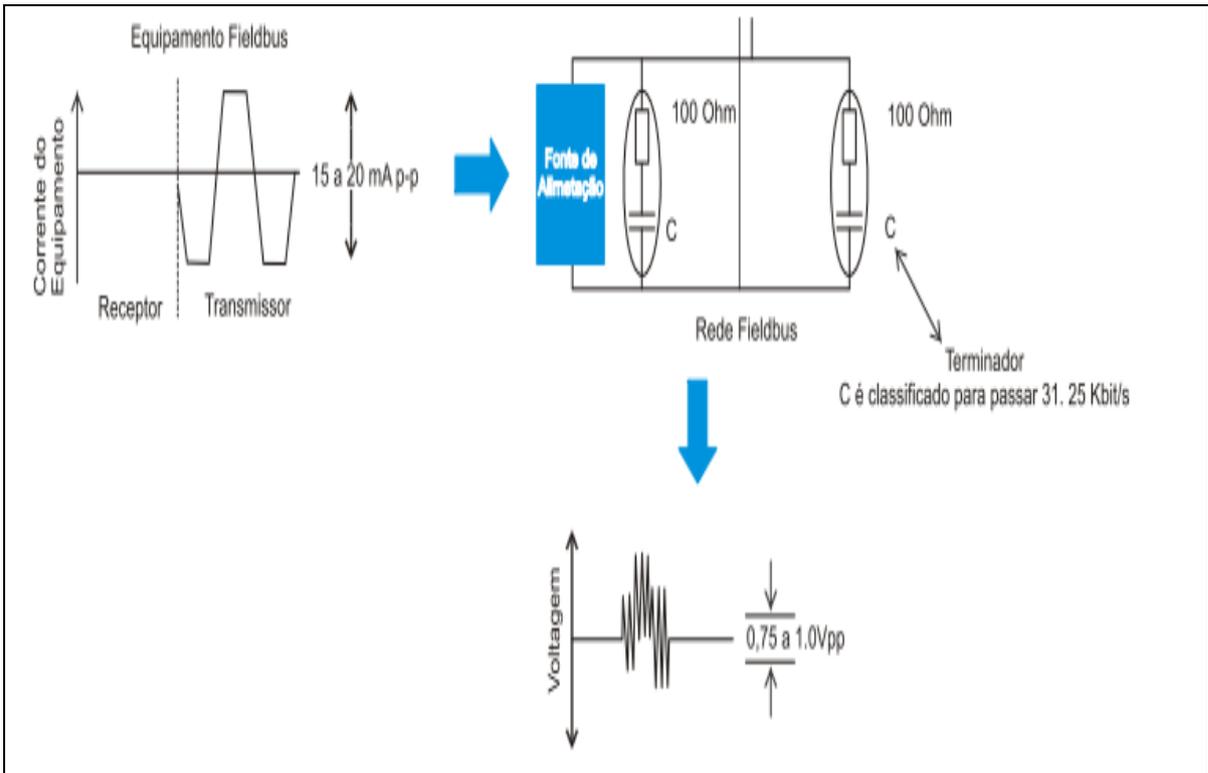


Figura 12 – Exemplo de sinal FIELDBUS em modo tensão 31,25kbit/s.
 Fonte: PROFIBUS-PA (2009)

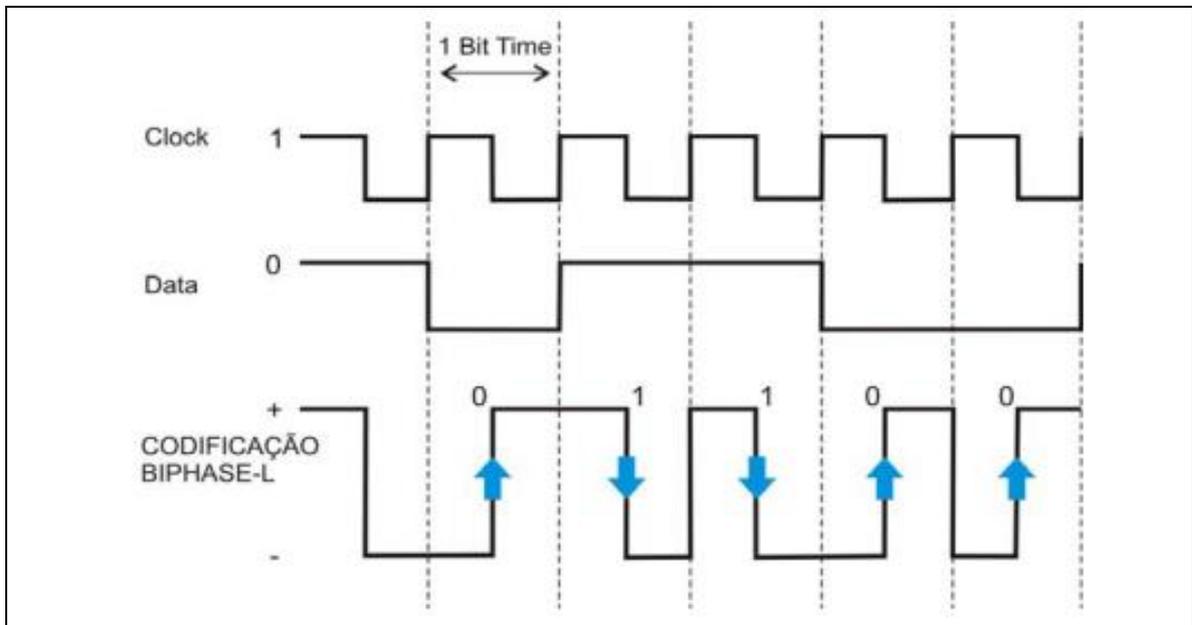


Figura 13 – Exemplo de codificador Manchester.
 Fonte: PROFIBUS-PA (2009)

- Para um sinal de comunicação íntegro, cada equipamento deve ser alimentado com no mínimo 9V. O meio físico H1 permite que se alimente os equipamentos via barramento, sendo que o mesmo par de fios que alimenta o equipamento também fornece o sinal de comunicação. Existem alguns equipamentos que são alimentados externamente;
- Comprimento máximo de 1.900 m/segmento sem repetidores;
- Utilizando-se até quatro repetidores, o comprimento máximo pode chegar a 9,5 km;
- Em um barramento PROFIBUS-PA pode-se ter até 32 equipamentos, sendo que a classificação da área e o consumo de corrente dos equipamentos, assim como as distâncias envolvidas e cabos utilizados são fatores limitadores desta quantidade;
- O barramento PROFIBUS-PA deve ser capaz de suportar vários equipamentos em aplicação com segurança intrínseca e sem alimentação. Valores típicos para equipamentos com 10 mA de corrente quiescente são:
 - *Explosion Group IIC*: 9 equipamentos;
 - *Explosion Group IIB*: 23 equipamentos.
- Não deve haver interrupção do barramento com a conexão e desconexão de equipamentos enquanto estiver em operação;
- Topologias disponíveis em barramento, árvore, estrela ou mista.

7.9.4.2 Aspectos da Comunicação

Para a Associação PROFIBUS (2000) o uso do protocolo digital em automação e controle de processo pode alcançar uma economia de até 40% em planejamento, cabeamento, comissionamento e manutenção, além de oferecer um aumento significativo na funcionalidade e segurança do sistema. A Figura 14, mostra as diferenças entre as ligações de um sistema convencional (4 a 20 mA) e um sistema baseado em PROFIBUS.

Conforme a Associação PROFIBUS (2000), os dispositivos de campo em áreas classificadas são conectados utilizando a norma IEC 61158-2, permitindo a transmissão de dados em conjunto com a alimentação do dispositivo através de um único par de fios. A interface da área não classificada, onde o PROFIBUS utiliza

RS-485, é realizada por um acoplador ou um *link*.

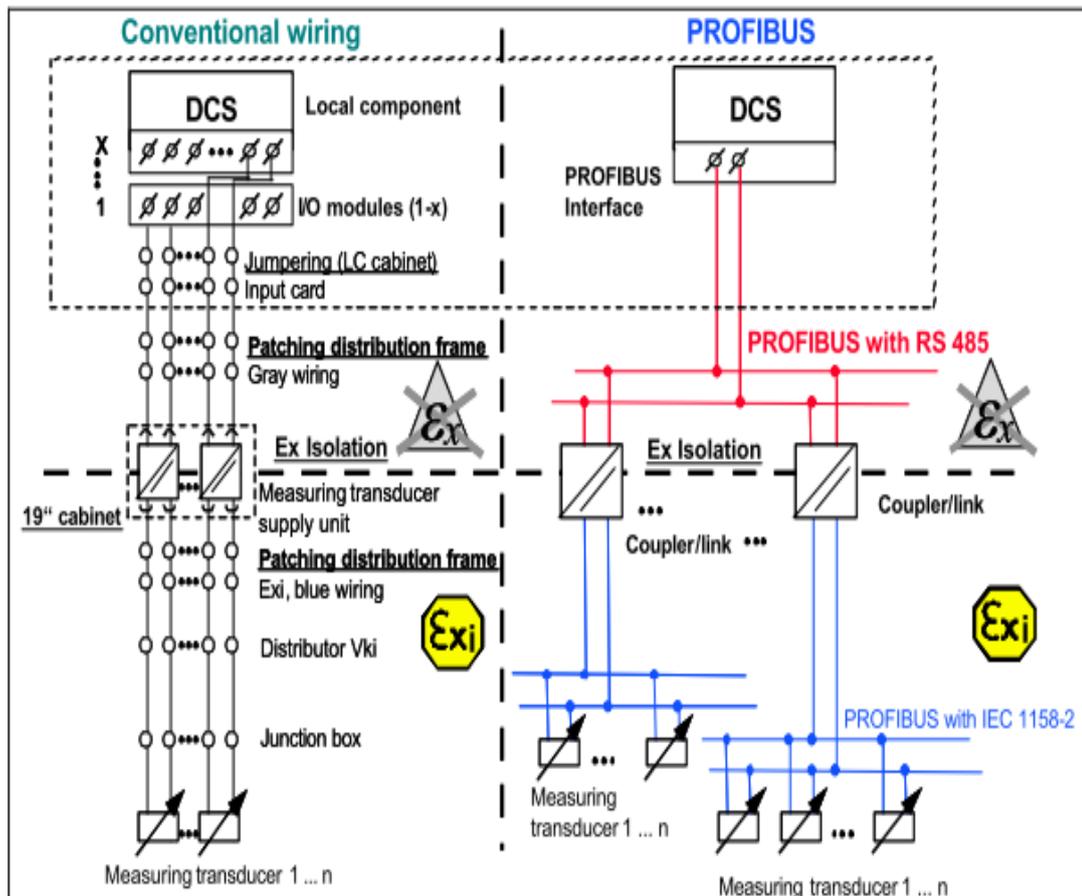


Figura 14 – Comparação entre ligações convencionais e PROFIBUS.
Fonte: PROFIBUS (2000).

A mesma Associação PROFIBUS (2000) afirma que diferente da fiação convencional, onde um fio individual é usado para cada sinal a ser ligado do ponto de medição ao módulo de entrada/saída (E/S) do sistema digital de controle (SDC), com o PROFIBUS os dados de vários dispositivos são transmitidos através de um único cabo. Enquanto uma alimentação separada (em caso de instalação à prova de explosão) para cada sinal na ligação convencional é necessária, o acoplador ou *link* de segmento realiza esta função em comum para muitos dispositivos em uma rede PROFIBUS. Dependendo dos requisitos da área classificada e do consumo de energia dos dispositivos, de 9 (Eex ia/ib) até 32 (não Ex) transmissores podem ser conectados em um acoplador ou *link* de segmento. Isto economiza não somente na ligação, mas também nos módulos de E/S do SDC. Baseado no fato de que vários dispositivos podem ser alimentados em conjunto por uma única fonte de

alimentação, ao utilizar PROFIBUS todos os isoladores e barreiras podem ser eliminados.

Os valores e o estado dos dispositivos de campo PA são transmitidos ciclicamente com alta prioridade entre um SDC (DPM1)³ e os transmissores usando as rápidas funções básicas do DP. Isto assegura que um valor de medição e seu estado estão sempre atualizados e disponibilizados no sistema de controle (DPM1). Por outro lado, os parâmetros do dispositivo para visualização, operação, manutenção e diagnóstico são transmitidos pelos Terminais de Engenharia (DPM2)⁴ com as funções DP acíclicas de baixa prioridade (PROFIBUS, 2000).

7.9.4.3 Aspectos da aplicação

Para Cassiolato et. al. (2012) além de definições relevantes sobre comunicação, o perfil PA também contém definições sobre a aplicação, tais como tipo de dados e unidades de medida do valor transmitido, assim como o significado da palavra de *status* que acompanha o valor medido. As especificações para a unidade de medida e o significado dos parâmetros do dispositivo, tais como limites baixo e alto do *range* de medição são independentes do fabricante.

Ainda conforme Cassiolato et. al. (2012) para auxiliar no comissionamento é possível ainda a simulação de valores no próprio transmissor. Através da simulação pode-se definir um valor fictício usando uma ferramenta de engenharia, que é então transmitido do transmissor para o sistema de controle, ao invés do valor real da medição, facilitando a simulação de estados críticos de uma planta industrial e auxiliando o pessoal de comissionamento em um processo passo-a-passo.

O comportamento do dispositivo é descrito por variáveis padronizadas com as quais as propriedades dos transmissores são descritas em detalhes. A Figura 15 mostra o princípio de um transmissor, descrito no bloco de função Saída Analógica (*Analog Input*) (PROFIBUS, 2000).

³ Classe-1 DP *MASTER* é um controlador central que troca informação com as estações descentralizadas (por ex.: DP *slaves*) dentro de um ciclo de mensagem especificado. Dispositivos mestres típicos incluem controladores programáveis (PLCs) e PC ou sistemas VME.

⁴ Classe-2 DP *MASTER* são terminais de engenharia, programadores, dispositivos de configurações ou painéis de operação. São utilizados durante o comissionamento para configuração do sistema DP e também para a manutenção e diagnóstico do barramento e/ou de seus dispositivos.

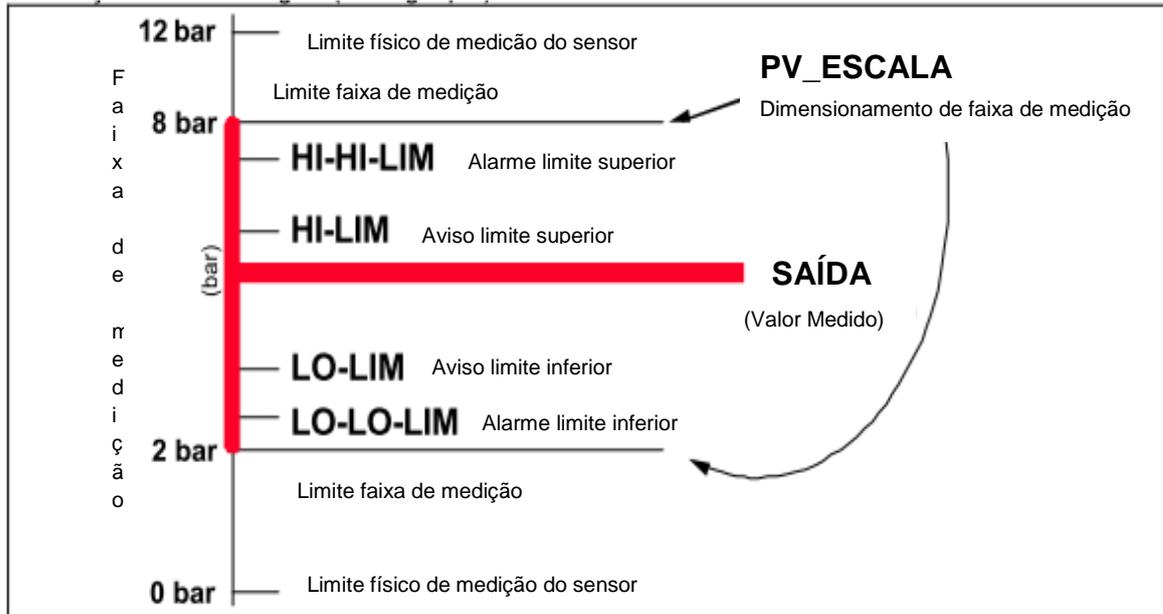


Figura 15 – Parâmetros no perfil do PROFIBUS PA.
Fonte: PROFIBUS (2000).

A Associação PROFIBUS (2000) informa em seus manuais que o perfil PA consiste de uma folha de dados genérica, contendo as definições aplicáveis para todos os tipos de dispositivos, e uma folha de dados do dispositivo, contendo informações específicas para o dispositivo determinado. O perfil é adequado tanto para a descrição de dispositivos com somente uma variável de medida (*single variable*) quanto para dispositivos multifuncionais com várias variáveis de medida (*multi-variable*). O perfil atual do PROFIBUS-PA (versão 3.0) define a folha de dados do dispositivo para os tipos mais comuns de transmissores de pressão e pressão diferencial, nível, temperatura, vazão, válvulas, posicionadores e analisadores;

7.9.4.4 Blocos de Função

Conforme descrito nos manuais da Associação PROFIBUS (2000) o perfil PA suporta a intercambiabilidade e a interoperabilidade de dispositivos de campo PA de diferentes fabricantes, usando o modelo de blocos funcionais que descrevem parâmetros e funções do dispositivo. Os Blocos de Função (*Function Blocks*) representam diferentes funções do usuário, tais como entrada analógica ou saída analógica. Além dos blocos de função de aplicação específica, dois blocos de função são disponíveis para características específicas do dispositivo o Bloco Físico e o

Bloco Transdutor. Os parâmetros de entrada e saída dos blocos de função podem ser conectados via barramento e ligado às aplicações de controle de processo.

Uma aplicação é composta de vários blocos de função. Os blocos de função são integrados nos dispositivos de campo pelo fabricante do dispositivo e podem ser acessados via comunicação, assim como pelo Terminal de Engenharia. Abaixo temos a descrição dos blocos e no Quadro 9 os Parâmetros do bloco de função Saída Analógica (AI).

- Bloco Físico (*Physical Block*): contém informações gerais do dispositivo, tais como nome, fabricante, versão e número de série do dispositivo.
- Bloco Transdutor (*Transducer Block*): contém dados específicos do dispositivo como, por exemplo, os parâmetros de correção.
- Bloco de Entrada Analógica (*Analog Input Block*) – AI: fornece o valor medido pelo sensor, com estado (*status*) e escala (*scaling*).
- Bloco de Saída Analógica (*Analog Output Block*) – AO: fornece o valor de saída analógica especificada pelo sistema de controle.
- Bloco de Entrada Digital (*Digital Input Block*) – DI: fornece ao sistema de controle o valor da entrada digital.
- Bloco de Saída Digital (*Digital Output Block*) – DO: fornece a saída digital com o valor especificado pelo sistema de controle.

Parâmetro	Leitura	Escrita	Função
OUT	•		Valor medido atual da variável de processo;
PV-SCALE	•	•	Escala da faixa de medição da variável de processo, códigos para unidades e números de dígitos após o ponto decimal;
PV-FTIME	•	•	Tempo de resposta da saída do bloco funcional em segundos;
ALARM-HYS	•	•	Histerese do alarme, funciona como % do <i>range</i> de medição;
HI-HI-LIMIT	•	•	Limite alto-alto de alarme: Se ultrapassado, <i>bit</i> de alarme e <i>status</i> são ativados;
HI-LIMIT	•	•	Limite alto de alarme: Se ultrapassado, <i>bit</i> de <i>warning</i> e <i>status</i> são ativados;
LO-LIMIT	•	•	Limite baixo de alarme: Se ultrapassado, <i>bit</i> de <i>warning</i> e <i>status</i> são setados;
LO-LO-LIMIT	•	•	Limite baixo-baixo de alarme: Se ultrapassado para baixo, <i>bit</i> de <i>interrupt</i> e <i>status</i> são acionados;
HI-HI-ALARM	•		Estado do limite alto-alto de alarme;
HI-ALARM	•		Estado do limite alto de alarme;
LO-ALARM	•		Estado do limite baixo de alarme;
LO-LO-ALARM	•		Estado do limite baixo-baixo de alarme;

Quadro 9 – Parâmetros do bloco de função Saída Analógica (AI).

Fonte: PROFIBUS (2000).

7.9.4.5 Topologias

A rede PROFIBUS-PA pode ter as seguintes topologias: estrela e linear representadas pelas Figuras 16 e 17. Na prática, normalmente usa-se uma topologia mista. Estruturas em estrela ou linear (e combinação das duas) são topologias de rede suportadas pelo PROFIBUS com transmissão *Manchester Coded Bus Powered* (MBP) (BRANDÃO 2008).

Brandão (2008) descreve em sua apostila de treinamento que em uma estrutura linear, as estações são conectadas ao cabo ou barramento principal através de conectores do tipo T, ou caixas de junção. A estrutura estrela pode ser comparada à técnica clássica de instalação em campo. O painel de distribuição continua a ser utilizado para a conexão dos dispositivos de campo e para a instalação dos terminadores de barramento. Quando uma estrutura em estrela é utilizada, todos os dispositivos de campo conectados ao segmento de rede são interligados em paralelo no distribuidor.

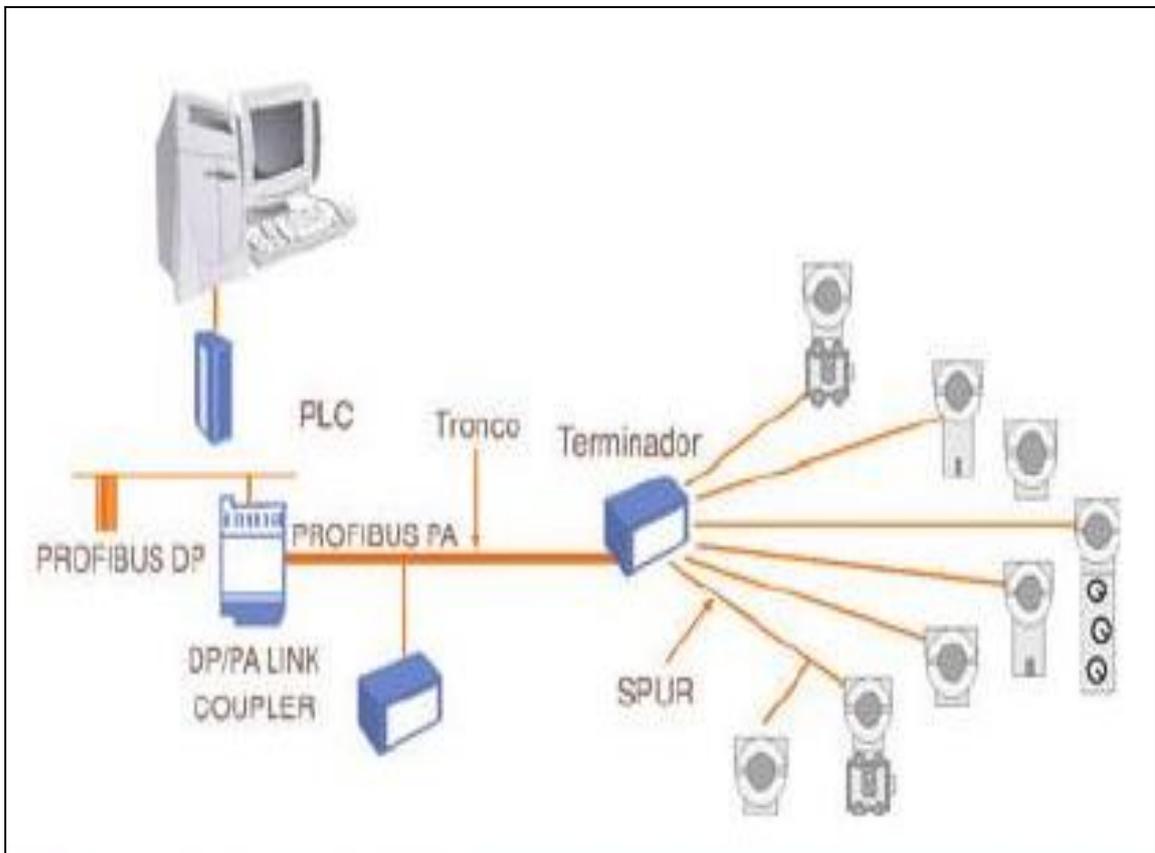


Figura 16 – Topologia Estrela.
Fonte: MECATRONICA ATUAL (2010).

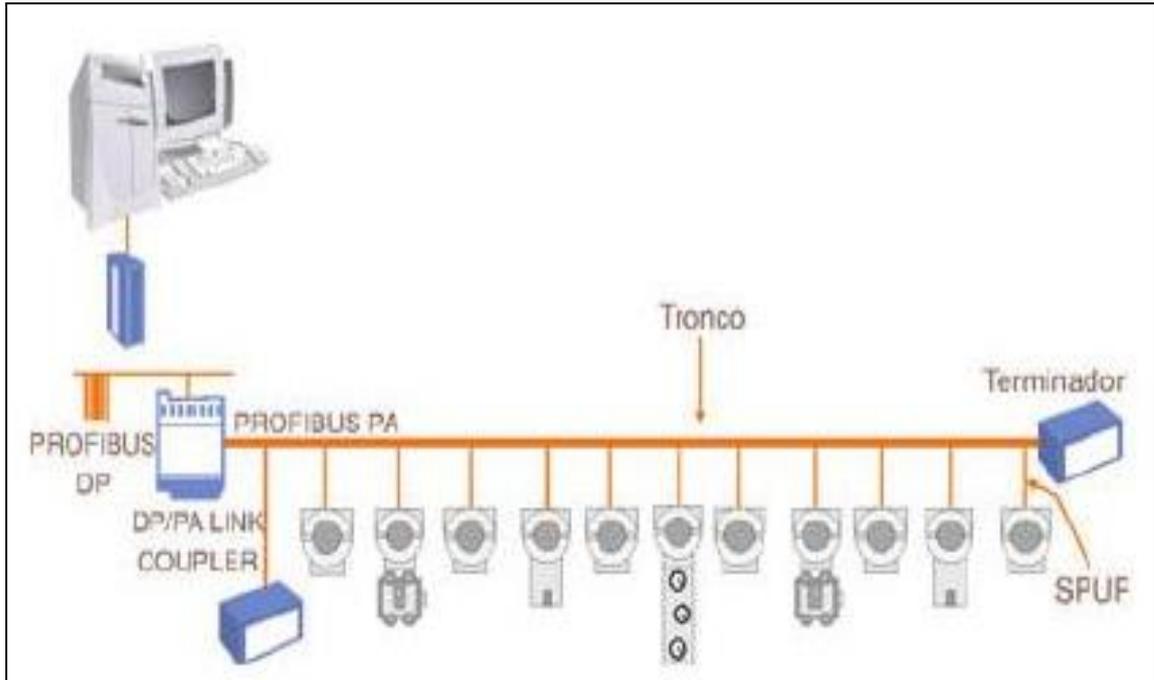


Figura 17 – Topologia Linear.
Fonte: MECATRONICA ATUAL (2010).

7.9.4.6 Acopladores DP/PA (*Coupler DP/PA*)

O *coupler DP/PA* é usado para converter as características físicas do barramento PROFIBUS-DP e PROFIBUS-PA, pois existe a necessidade de conversão de meio físico (RS-485/fibra óptica) para IEC 61158-2 (H1), onde as velocidades de comunicação são diferentes (CASSIOLATO, 2012).

A revista MECATRONICA ATUAL ressalta que os acopladores são transparentes para os mestres (não possuem endereço físico no barramento) e atendem aplicações (Ex) e (Non-Ex) definindo e limitando o número máximo de equipamentos em cada segmento PROFIBUS-PA. O número máximo de equipamentos em um segmento depende entre outros fatores, da somatória das correntes quiescentes e de falhas dos equipamentos (FDE) e distâncias envolvidas no cabeamento. Podem ser alimentados até 24 Vdc, dependendo do fabricante e da área de classificação e trabalhar com as seguintes taxas de comunicação, dependendo do fabricante: P+F (93,75 kbits/s e SK3:12 Mbits/s) e Siemens(45,45 kbits/s), conforme Quadro 10.

	SIEMENS	SIEMENS	SIEMENS	PEPPERL+FUCHS	PEPPERL+FUCHS
Modelo	6ES7157-0AD00-0XA0	6ES7157-0AC00-0XA0	6ES7157-0AA00-0XA0 PA/Link	KFD2-BR-Ex 1.PA	KFD2-BR-1.PA.
“Ex”	IA DE EX IIC	-	IA DE EX IIC	IA DE EX IIC	-
Tensão de Oper. (V)	12,5	19	(3)	12,5	22
Corrente Máx. de Oper. (mA)	100	400	(3)	110	380
Alim. Máx. (W)	1,8		(3)	1,93	
Resist. Máx. da Linha (Ω)	35	25	(3)	32,7	34,2
Comp. Máx. do Cabo (m)	1000	1900(2)	(3)	1000(1)	1900(2)
Taxa de Transm./Rec. ep. DP	45,45 Kbits/s	45,45 Kbits/s	Até 12 Mbits/s	93,75 kbits/s	93,75 kbits/s

Quadro 10 – Características de Acopladores DP/PA.

Fonte: PROFIBUS (2000).

Nota:

- (1) Comprimento de cabo máximo para Ex e IIC para 1000 m.
 (2) Valor máximo especificado na IEC 61158-2.
 (3) Ambos os acopladores PA da Siemens, 6ES7157-0AD00-0XA0 e 6ES7157-0AC00-0XA0, podem ser conectados ao link DP/PA.

7.9.4.7 Número de Equipamentos PROFIBUS-PA em um Segmento

Conforme descrito no manual geral PROFIBUS-PA (2009), a quantidade de equipamentos (N) por segmento PA depende do consumo quiescente de cada equipamento PA, das distâncias envolvidas (sendo a resistência do *loop* com cabo tipo A de $44\Omega/\text{km}$), do *coupler* DP/PA e de sua corrente drenada, da classificação de área (*couplers* para área classificada drenam correntes da ordem de 110 mA com tensão de saída 12 V), além da corrente de falta do transmissor (corrente de falhas dos equipamentos FDE, que normalmente é 0mA, dependendo do fabricante). Em áreas perigosas o número de equipamentos deve ser limitado por barreira de segurança, de acordo com as restrições de segurança da área e limites do *coupler* DP/PA.

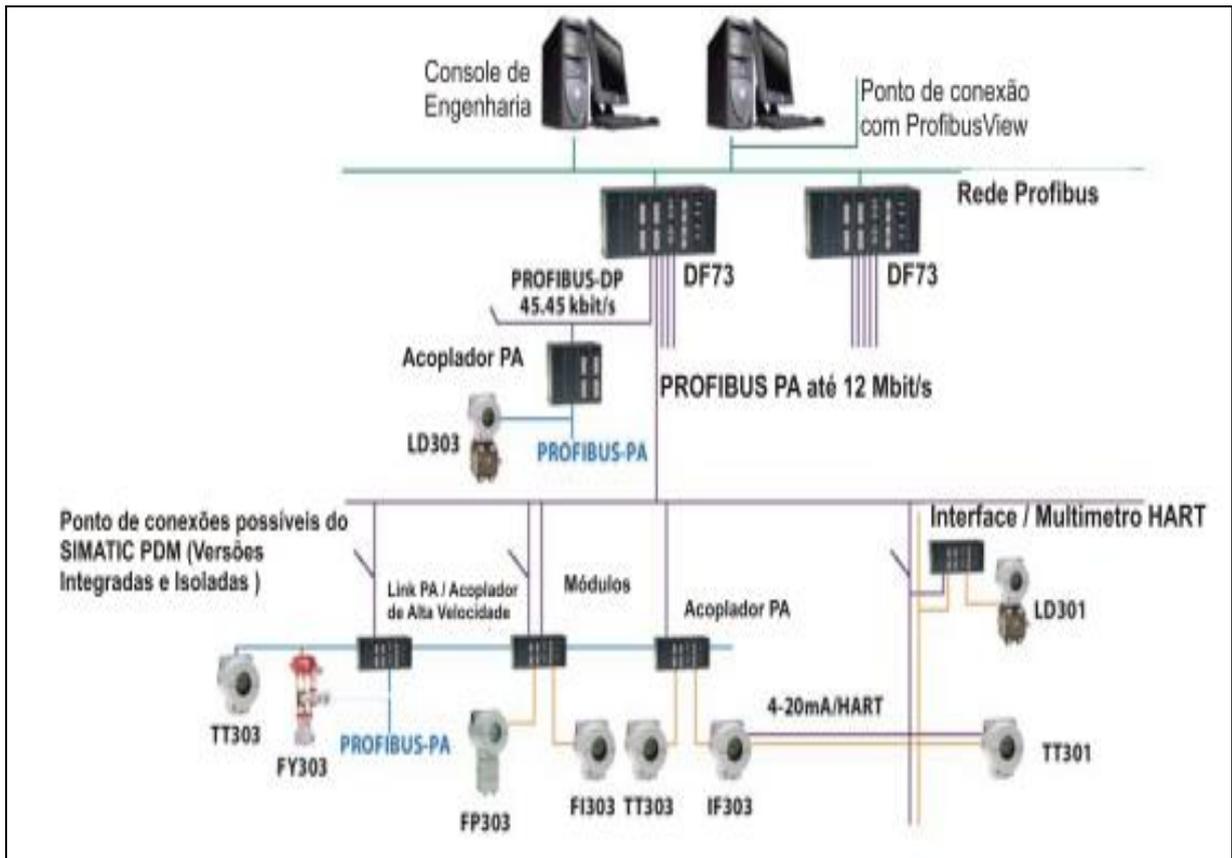


Figura 18 – Rede PROFIBUS.
Fonte: PROFIBUS-PA (2009).

A corrente total no segmento deve ser menor do que a corrente drenada pelo *coupler*. A equação (1) apresenta a corrente no segmento PA.

$$I_{\text{Seg}} = \Sigma I_{\text{BN}} + I_{\text{FDE}} + I_{\text{FREE}} \quad (1)$$

Com $I_{\text{Seg}} < I_c$

Onde:

- I_{Seg} : corrente no segmento PA;
- ΣI_{BN} : somatória das correntes quiescentes de todos os equipamentos no segmento PA;
- I_{FDE} : corrente adicional em caso de falha, normalmente desprezível;
- I_{FREE} : corrente de folga, útil em caso de expansão ou troca de fabricante, sendo recomendado 20 mA;
- I_c : corrente drenada pelo *coupler*.

Algumas caixas de junção ou protetores de curto circuito para segmento, chamados *spur guards*, são ativos e podem ser alimentados via barramento PA (H1). Sendo assim, deve entrar no cálculo da somatória da corrente da equação (1). Além disso, cada saída destes *spur guards* possui um limite permitido de corrente que deve ser respeitado.

Além disso, deve-se ter pelo menos 9 V na borneira do equipamento PA mais distante do *coupler* DP/PA para garantir sua energização correta. A equação (2) apresenta tensão na borneira do equipamento PA mais distante do *coupler* DP/PA.

$$V_{BN} = V_C - (R * L) \quad (2)$$

onde:

- V_{BN} : tensão na borneira do equipamento PA mais distante do *coupler* DP/PA.
- V_C : tensão de saída do *coupler* DP/PA;
- R: resistência de loop (para o cabo do tipo A tem-se $R = 44 \Omega/\text{km}$);
- L: comprimento total do barramento PA;

Destaforma, com $V_{BN} > 0,9 \text{ V}$ é garantida a energização do último equipamento PA, lembrando que o sinal de comunicação deve estar entre 750 a 1000 mV.

7.9.4.8 Link DP/PA

O manual geral PROFIBUS-PA (2009) descreve que os equipamentos de campo no PROFIBUS-PA podem ser conectados ao PROFIBUS-DP também por um *link* DP/PA. O *link* DP/PA é usado para redes extensas e, neste caso, mais de um *link* DP/PA pode ser conectado a uma linha PROFIBUS-DP dependendo da complexidade da rede e das exigências do tempo de processamento. O *link* DP/PA atua como um escravo no PROFIBUS-DP e como um mestre no PROFIBUS-PA, desacoplando todos os dados de comunicação na rede.

Isto significa que o PROFIBUS-DP e o PROFIBUS-PA podem ser combinados sem influenciar no desempenho do processo PROFIBUS-DP.

O mesmo manual PROFIBUS-PA (2009) afirma que o *link* DP/PA pode ser operado em todos os padrões mestres PROFIBUS-DP e a capacidade de endereçamento do sistema é aumentada consideravelmente, mas o *link* DP/PA reserva somente um endereço do PROFIBUS-DP. Os escravos conectados ao *link* DP/PA têm o seu endereçamento iniciado como se fosse uma rede nova, o que permite expandir a capacidade de endereçamento, já que se tem outro nível com a rede PA. Nesta rede PA pode-se ter até 30 escravos por *coupler*.

7.9.4.9 Endereçamento Utilizando *Couplers* DP/PA

A Figura 19 apresenta em detalhes o endereçamento transparente quando são utilizados *couplers* (de baixa ou de alta velocidade) na rede PROFIBUS-DP e PROFIBUS-PA. O endereço *default* é 126 e somente um equipamento com endereço 126 pode estar presente no barramento de cada vez (PROFIBUS PA, 2009).

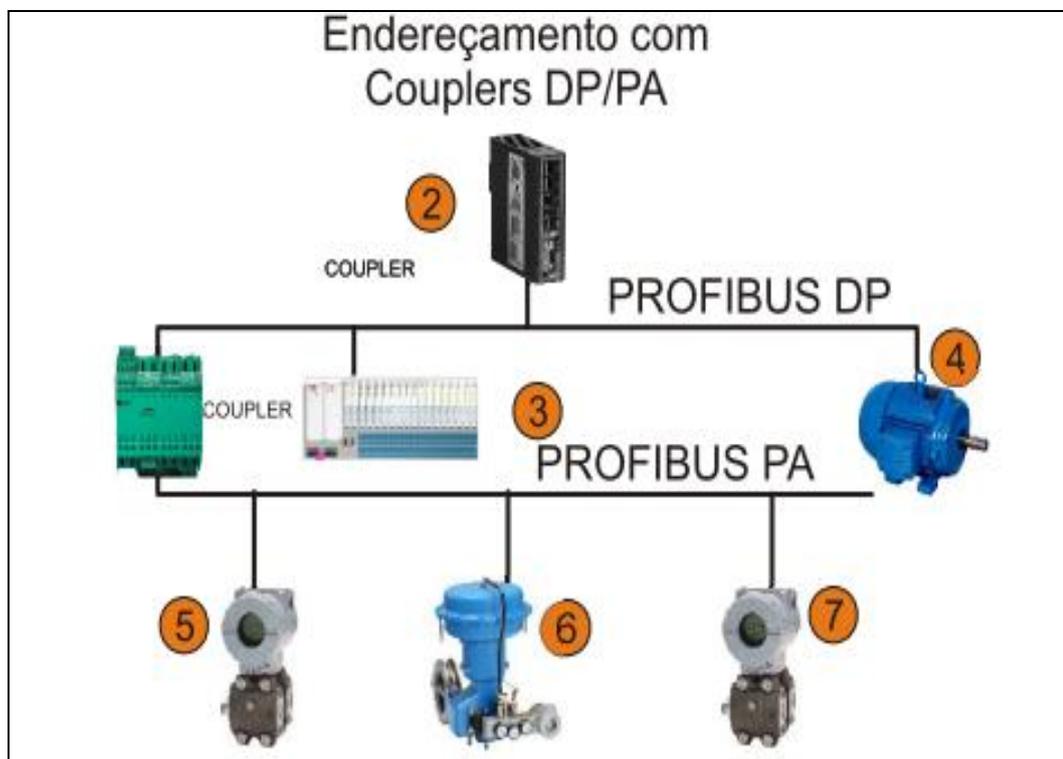


Figura 19 – Endereçamento Transparente com a Utilização de *Coupler* DP/PA.
Fonte: PROFIBUS-PA (2009).

onde:

- (2) – *coupler* DP/PA;
- (3) – bloco entradas/saídas (E/S);
- (4) – acionamento;
- (5), (6) e (7) – instrumentos de campo;

A Figura 20 do mesmo manual PROFIBUS-PA (2009) mostra em detalhes o endereçamento estendido quando se utiliza o *link* DP/PA na rede PROFIBUS-DP e PROFIBUS-PA. É importante que o endereço do *link* seja diferente do endereço dos escravos associados a ele. Por exemplo, na Figura 20, os endereços de 3 a 5 não são utilizados para endereçar os links.

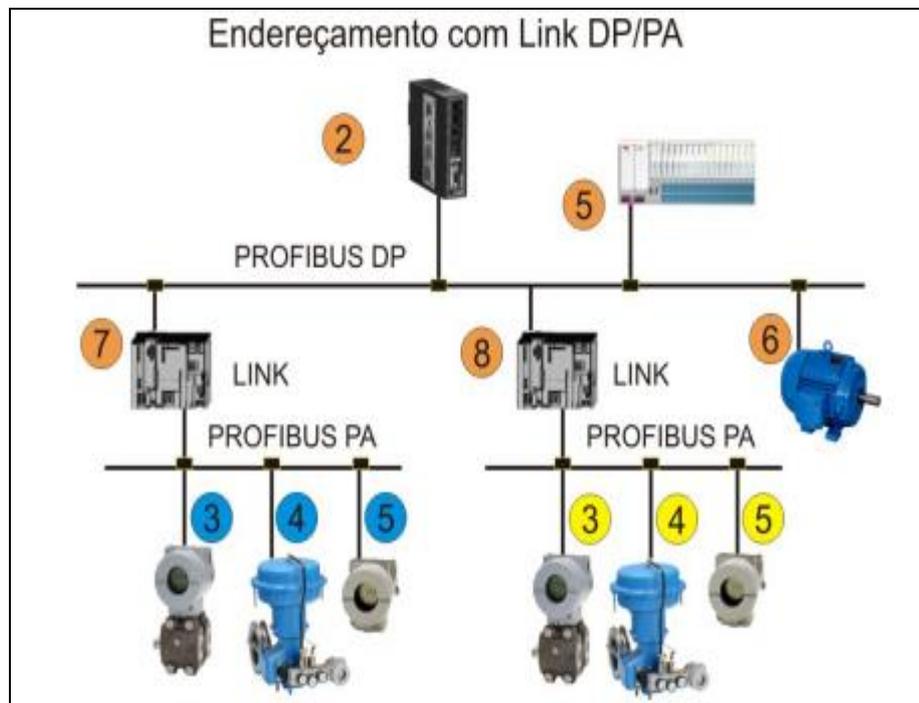


Figura 20 – Endereçamento Estendido com a Utilização de *Link* DP/PA.
Fonte: PROFIBUS-PA (2009).

7.9.4.10 Tipos de Cabos Recomendados

A IEC 61158-2 determina que o meio físico do PROFIBUS-PA deva ser um par de fios trançados e blindados (*shield*). As propriedades de um barramento de campo são determinadas pelas características elétricas do cabo utilizado. Embora a IEC 61158-2 não especifique o cabo, o mais recomendado é o do tipo A, que

garante as melhores condições de comunicação e distâncias envolvidas (MECATRONICA ATUAL, 2010).

O Quadro 11, utilizados em PROFIBUS-PA, apresenta as especificações dos diversos cabos à 25°C. A maioria dos fabricantes de cabos recomenda a temperatura de operação entre -40°C e +60°C, sendo necessário se verificar os pontos críticos de temperatura por onde é passado o cabeamento e se o cabo suporta a mesma. A resistência específica do cabo tipo A é de 22 Ω/km a 25°C. A resistência do cabo aumenta com a temperatura, cerca de 0,4%/°C (PROFIBUS-PA, 2009).

	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
Descrição do Cabo	Par trançado com <i>Shield</i>	Um ou mais pares trançados total com <i>Shield</i>	Diversos pares trançados sem <i>Shield</i>	Diversos pares não-trançados, sem <i>Shield</i>
Área de Seção do Condutor Nominal	0,8 mm ² (AWG 18)	0,32 mm ² (AWG 22)	0,13 mm ² (AWG 26)	0,25 mm ² (AWG 16)
Máxima Resistência DC (<i>loop</i>)	44 Ω/Km	112 Ω/Km	264 Ω/Km	40 Ω/Km
Impedância Característica a 31,25 KHz	100 Ω ± 20%	100 Ω ± 30%	**	**
Máxima Atenuação a 39 KHz	3 dB/Km	5 dB/Km	8 dB/Km	8 dB/Km
Máxima Capacitância Desbalanceada	2 nF/Km	2 nF/Km	**	**
Distorção de Atraso de Grupo (7,9 a 39 KHz)	1,7 µseg/Km	**	**	**
Superfície Coberta pelo <i>Shield</i>	90%	**	-	-
Recomendação para Extensão de Rede (incluindo <i>spurs</i>)	1900 m	1200 m	400 m	200 m

Quadro 11 – Características dos Diversos Cabos Utilizados em PROFIBUS-PA.

Fonte: PROFIBUS-PA (2009).

7.9.4.11 Comprimento Total do Cabo e Regras de Distribuição e Instalação

Para a Associação PROFIBUS o comprimento total do cabo PROFIBUS-PA deve ser totalizado desde a saída do ponto de conversão DP/PA até o ponto mais distante do segmento, considerando as derivações, sendo que braços menores do que um metro não entram neste total.

A mesma Associação afirma que o comprimento total do cabeamento é a somatória do tamanho do *trunk* (barramento principal) mais todos os *spurs* (derivações

maiores do que um metro), sendo que, com cabo do tipo A, o máximo comprimento em áreas não-classificadas é de 1.900 m sem repetidores. Em áreas classificadas é de 1.000 m, com *spur* máximo de 30 m (PROFIBUS, 2000).

O manual geral PROFIBUS-PA recomenda evitar *splice* na instalação e distribuição. Os *splices* são qualquer parte da rede que tenha uma alteração de impedância que pode ser causada, por exemplo, por alteração do tipo de cabo, descontinuidade do *shield*, esmagamento ou dobra muito acentuada no cabo etc. Em redes com comprimento total maior que 400 m, a somatória dos comprimentos de todos os *splices* não deve ultrapassar 2% do comprimento total e ainda, em comprimentos menores do que 400 m, não deve exceder 8 m.

O comprimento máximo de um segmento PA quando se utiliza cabo de tipos diferentes fica limitado conforme a equação (3).

$$(LA / LA \text{ max}) + (LB / LB \text{ max}) + (LC / LC \text{ max}) + (LD / LD \text{ max}) \leq 1 \quad (3)$$

onde:

- LA: comprimento do cabo A;
- LB: comprimento do cabo B;
- LC: comprimento do cabo C;
- LD: comprimento do cabo D;
- LA max: comprimento máximo permitido com o cabo A (1.900 m);
- LB max: comprimento máximo permitido com o cabo B (1.200 m);
- LC max: comprimento máximo permitido com o cabo C (400 m);
- LD max: comprimento máximo permitido com o cabo C (200 m);

Quando utilizar braços (*spurs*), o manual geral PROFIBUS-PA recomenda que seja necessária atenção especial aos comprimentos dos mesmos. A quantidade de equipamentos PA deve estar de acordo com o Quadro 12, sendo que deve ser considerado os repetidores quando houver.

Total de Equipamentos PA por Segmento coupler DP/PA	Comprimento do Spur (m) com 01 Equipamento	Comprimento do Spur (m) com 02 Equipamento	Comprimento do Spur (m) com 03 Equipamento	Comprimento do Spur (m) com 04 Equipamento	Comprimento Considerando a Quantidade Máxima de Spurs (m)
1-12	120	90	60	30	12 x 120 = 1440
13-14	90	60	30	1	14 x 90 = 1260
15-18	60	30	1	1	18 x 60 = 1080
19-24	30	1	1	1	24 x 30 = 720
25-32	1	1	1	1	1 x 32 = 32

Quadro 12 – Spur x Número de Equipamentos PA.
Fonte: PROFIBUS-PA (2009).

O limite de capacitância do cabo deve ser considerado já que o efeito no sinal de um spur se assemelha ao efeito de se acrescentar um capacitor. Na ausência de dados do fabricante do cabo, o valor de 0,15 nF/m pode ser usado para cabos PROFIBUS. A equação (4) apresenta o cálculo da capacitância total.

$$C_t = (C_s \times L_s) + C_d \quad (4)$$

onde:

- C_t : capacitância total em nF;
- L_s : comprimento do spur em m;
- C_s : capacitância do fio por segmento em nF (padrão de 0,15);
- C_d : capacitância do equipamento PA.

$$A = C_t \times L_s \times 0,035 \text{ dB} / \text{nF} \{ 14 \text{ dB} \quad (5)$$

A atenuação associada a esta capacitância é de 0,035 dB/nF. Sendo assim, a atenuação total pode ser expressa pela equação (5), sendo 14 dB é a atenuação total que permitirá o mínimo de sinal necessário para haver condições de detectá-lo com integridade.

Existem algumas regras que devem ser seguidas com relação a roteamento e separação entre outros cabos, quer sejam de sinais ou de potência. Deve-se preferencialmente utilizar bandejamentos ou calhas metálicas, observando as distâncias apresentadas no Quadro 13. Nunca se deve passar o cabo

PROFIBUS-PA ao lado de linhas de alta potência, pois a indução é uma fonte de ruído e pode afetar o sinal de comunicação.

O sinal FIELDBUS também deve ser isolado de fontes de ruídos, como cabos de força, motores e inversores de frequência. Recomenda-se colocá-los em guias e calhas separadas. O ideal é utilizar canaletas metálicas, onde se tem a blindagem eletromagnética externa e interna. As correntes de *Foucault* são praticamente imunes devido à boa condutibilidade elétrica do alumínio. O cruzamento entre os cabos deve ser feito em ângulo de 90° (PROFIBUS PA, 2009).

	Cabo de comunicação PROFIBUS	Cabos com e sem <i>shield</i> : 60 Vdc ou 25 Vac e < 400 Vac	Cabos com e sem <i>shield</i> : > 400 Vac	Qualquer cabo sujeito à exposição de raios
Cabo de comunicação PROFIBUS		10 cm	20 cm	50 cm
Cabos com e sem <i>shield</i> : 60 Vdc ou 25 Vac e < 400 Vac	10 cm		10 cm	50 cm
Cabos com e sem <i>shield</i> : > 400 Vac	20 cm	10 cm		50 cm
Qualquer cabo sujeito à exposição de raios	50 cm	50 cm	50 cm	

Quadro 13 – Distâncias Mínimas de Separação entre Cabeamentos.

Fonte: PROFIBUS-PA (2009).

7.9.4.12 Terminadores da Rede PROFIBUS PA

Conforme o manual PROFIBUS-PA (2009), dois terminadores de barramento devem estar conectados na rede, sendo um na saída do *coupler* DP/PA e o outro no último equipamento (normalmente o mais distante do *coupler*), dependendo da topologia adotada.

Se na distribuição dos cabos houver uma caixa de junção no final do tronco principal com vários braços, o terminador de campo deve ser colocado neste ponto, o que facilita a manutenção quando for necessário remover equipamentos.

O mesmo manual PROFIBUS PA (2009) adverte que a falta de terminadores causa a intermitência da comunicação no barramento uma vez que não há casamento de impedância e há aumento da reflexão de sinal.

A falta de um terminador ou sua conexão em ponto incorreto pode degradar o sinal, pois o comportamento da fiação além do terminador funcionará como uma antena e os níveis de sinais podem aumentar em mais de 70%. Quando se tem mais de dois terminadores, os níveis de sinais podem atenuar mais do que 30%. Condições de atenuação do sinal também pode causar intermitência no barramento.

O terminador da rede PA é composto de um resistor de $100 \Omega \pm 2\%$ e um capacitor de $1 \mu\text{F} \pm 20\%$, conforme a Figura 21. A Figura 22 apresenta formas de ondas típicas do PROFIBUS-PA de acordo com a terminação.

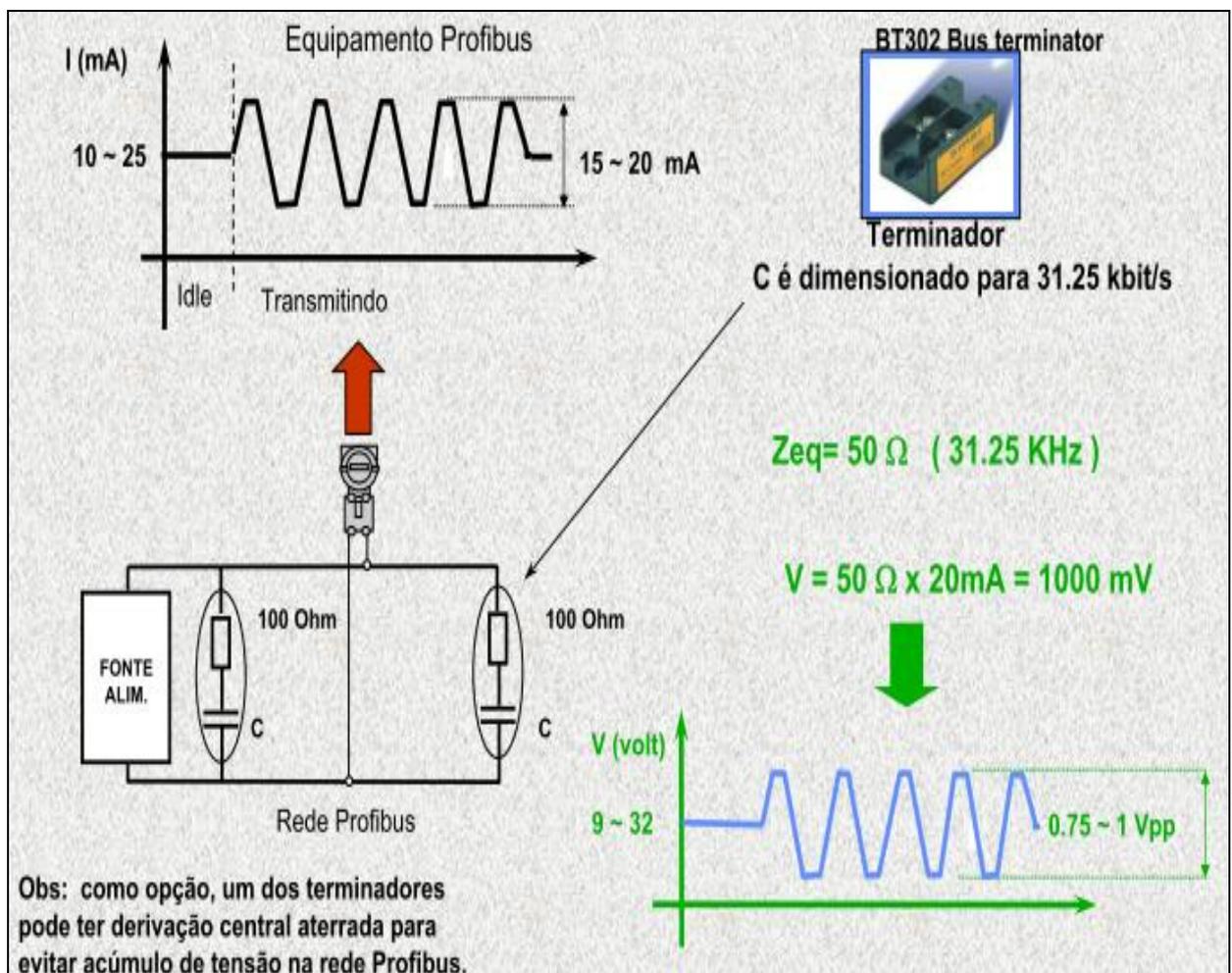


Figura 21 – Terminador de Barramento.
Fonte: PROFIBUS (2000).

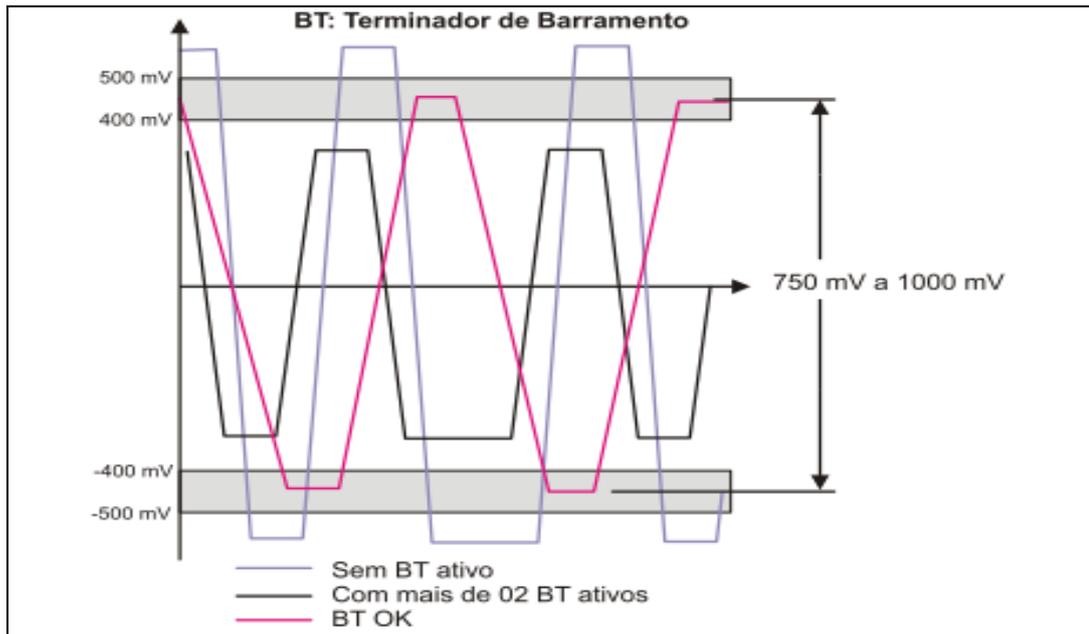


Figura 22 – Formas de Ondas Típicas do H1 de Acordo com a Terminação.
Fonte: PROFIBUS (2000).

7.9.4.13 Repetidores

Na rede PROFIBUS-PA pode-se ter até 4 repetidores. Eles são usados sempre que há necessidade de aumentar a quantidade de equipamentos ou reforçar níveis de sinais que foram atenuados com a distância de cabeamento ou mesmo expandir o cabeamento até 9.500 m.

Deve-se ter certeza que há terminadores no final do segmento (início do repetidor) e na saída do repetidor (PROFIBUS-PA, 2009).

7.9.4.14 Supressor de Transientes

O manual PROFIBUS-PA (2009) afirma que toda vez que houver uma distância efetiva entre 50 e 100 m na horizontal ou 10 m na vertical entre dois pontos aterrados, recomenda-se o uso de protetores de transientes, no ponto inicial e final. A Figura 23 demonstra um modelo de instalação do supressor de transientes conforme o comprimento do tronco.

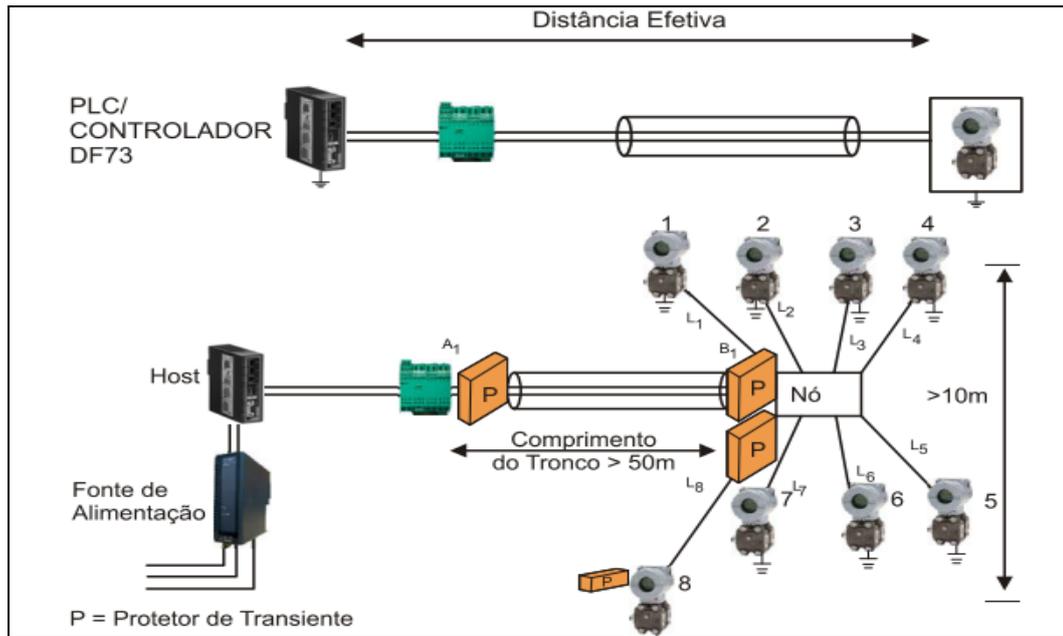


Figura 23 – Distância Efetiva em uma Distribuição de Cabo.
Fonte: PROFIBUS-PA (2009).

7.9.4.15 Fonte de Alimentação e Sinal de Comunicação

O manual PROFIBUS-PA (2009) informa que o consumo de energia varia de um equipamento para outro, assim como de fabricante para fabricante.

O mesmo manual PROFIBUS-PA ainda afirma que quanto menor for o consumo dos equipamentos, uma quantidade maior de equipamentos podem ser conectados ao barramento em aplicações em áreas classificadas (intrinsecamente seguras). É importante observar e garantir as condições mínimas de alimentação no equipamento mais distante do *coupler* DP/PA, onde a impedância do cabo utilizado pode atenuar o sinal de alimentação.

Para o sinal de alimentação, consideram-se como valores aceitáveis na prática de 12 a 32 Vdc na saída do *coupler* DP/PA, dependendo do fabricante do *coupler*;

Rippler (mV):

- < 25: excelente;
- $25 < r < 50$: ok;
- $50 < r < 100$: marginal;
- > 100: não aceitável.

Nível de Tensão:

- 750 a 1000 mVpp: ok;
- > 1000 mVpp: muito alto. Pode haver um terminador a menos.
- < 250 mVpp: muito baixo. É necessário verificar se há mais de dois terminadores ativos, fonte de alimentação, *coupler* DP/PA etc.

3. PLANTA DE RESINA COM EQUIPAMENTOS HART

Objeto principal do estudo, a planta de resina da indústria referencia é composta basicamente pelos seguintes equipamentos:

- Reator e Condensador: no reator são adicionadas todas as matérias primas necessárias para fabricação da resina e ocorre, também, a homogeneização desses produtos, o cozimento e o resfriamento. O condensador tem como finalidade condensar vapores químicos gerados pelo aquecimento de líquidos em processos de destilação simples, como por exemplo, o formol. A Figura 24 apresenta um modelo de reator de resinas.
- Chiller: é o equipamento responsável pelo resfriamento da resina, sendo apresentado na Figura 25.
- Gerador de Vapor: é responsável pela geração de vapor que é utilizado no cozimento da resina apresentado na Figura 26.



Figura 24 – Reator de Resina.
Fonte: Pirâmide (2014).



Figura 25 – Chiller.
Fonte: Trane (2014).



Figura 26 – Gerador de Vapor.
Fonte: Certuss (2014).

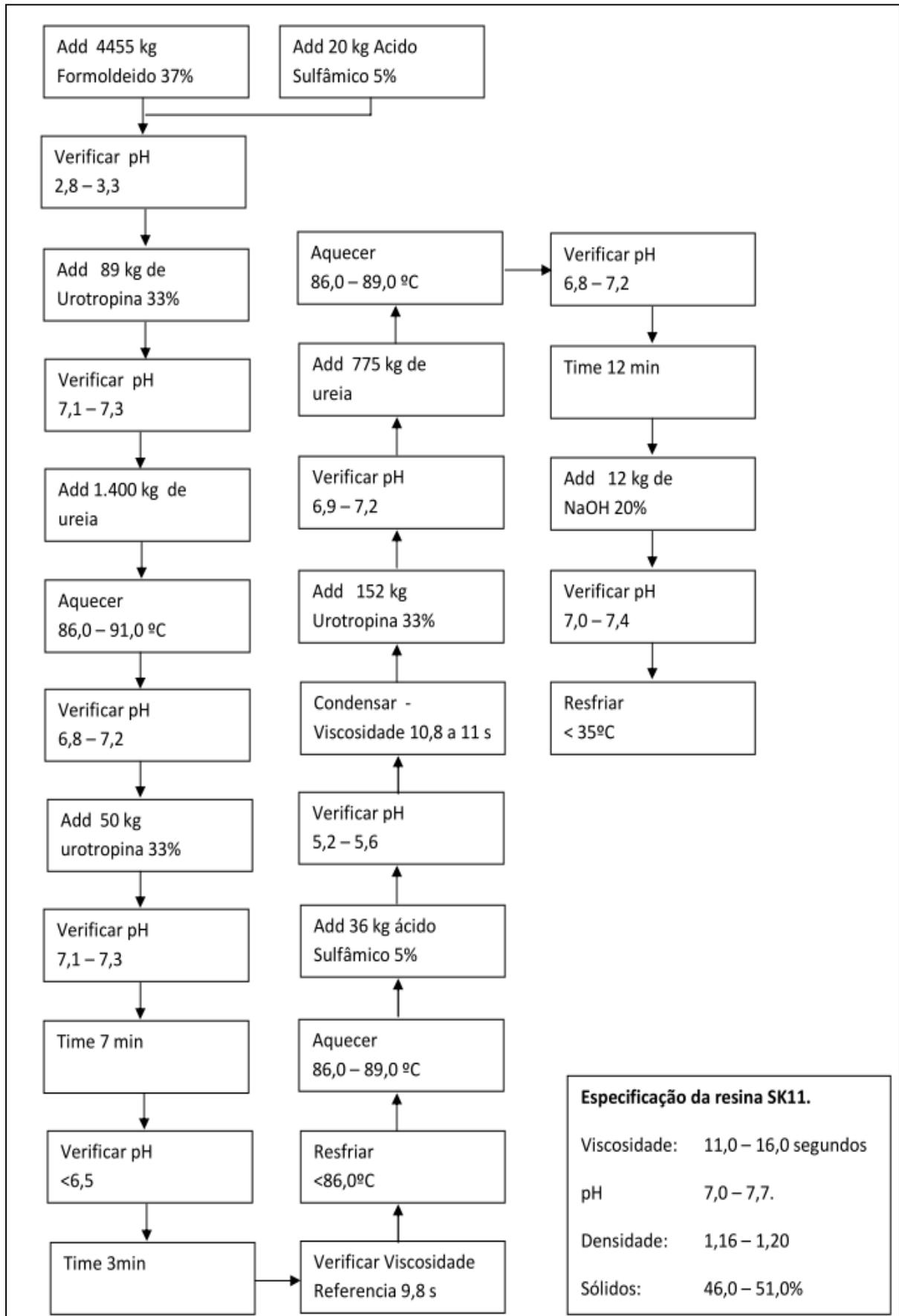


Figura 27 – Fluxograma de Produção de Resina.
Fonte: Autoria Própria.

Especificação da resina SK11.

Viscosidade: 11,0 – 16,0 segundos

pH 7,0 – 7,7.

Densidade: 1,16 – 1,20

Sólidos: 46,0 – 51,0%

Conforme a Figura 27, a produção de resina segue todas as etapas do fluxograma de produção. Atualmente o reator é controlado através de um sistema supervisório e todo o controle de campo (instrumentação) utiliza o protocolo de comunicação HART.

Na primeira etapa do processo é dosado o formol e o ácido sulfâmico, o controle de dosagem desses produtos químicos é feito através de um transmissor de vazão magnético e de um transmissor de vazão por coriolis, após isso é coletado uma amostra e verificado o PH da mistura. Após a verificação do PH adiciona-se a urotropina e mede-se o PH novamente e para finalizar a primeira etapa do processo de fabricação adiciona-se conforme a ordem de produção melamina ou uréia no reator e aquece a resina até 91°C. A dosagem da melamina ou uréia é realizada manualmente pelo auxiliar de operação e o controle de temperatura é feito através de um transmissor de temperatura, para esse processo de aquecimento contamos com um controle redundante para efeito de segurança do equipamento. As demais etapas do processo ocorrem da mesma maneira que a primeira e ao final do processo é realizado o resfriamento da resina.

Para o processo de fabricação de resina o controle da adição dos aditivos químicos e o controle de temperatura devem ser o mais preciso possível. Caso aconteça um erro na quantidade adicionada dos aditivos químicos, perde-se toda a batelada de resina, causando um grande prejuízo financeiro para empresa. O controle de temperatura é de extrema importância para o processo pois, caso ocorra um desvio na curva de aquecimento da resina, além da perda do produto podem ocorrer danos no reator.

Os principais instrumentos de fabricação de resina são o transmissor de temperatura e o sistema medidor de vazão por coriolis.

3.1 TRANSMISSOR DE TEMPERATURA

Um transmissor de temperatura, de forma bem simplificada, converte um sinal que está sendo transmitido por um sensor primário (termopar ou termo-resistência) em um sinal padrão na saída, que pode ser analógico de 4 a 20 mA ou digital, como por exemplo protocolo HART. Existem nos mercados transmissores de temperatura analógicos e microprocessados. Os primeiros são instrumentos que não possuem,

na sua estrutura, componentes micro processados e sendo assim, toda a forma de ajuste e configuração são feitas manualmente no próprio instrumento. Possuem um preço baixo, não linearizam sinais de termopares, possibilitam a mudança do *range* e o tipo de sensor de mesma família. Já os transmissores de temperatura microprocessados são totalmente configuráveis, com entrada universal, imunes a ruídos, têm isolamento galvânica, possuem filtros de sinal na entrada e linearização. A sua configuração é feita via *software* por comunicação serial digital ou comunicação HART ou através de um configurador específico. Para uma operação adequada, o configurador exige uma carga mínima de 250 Ω entre ele e a fonte de alimentação. (SMAR, 2014).

A Figura 28 apresenta o esquema de ligação do transmissor de temperatura TT301 da Smar (SMAR, 2014).

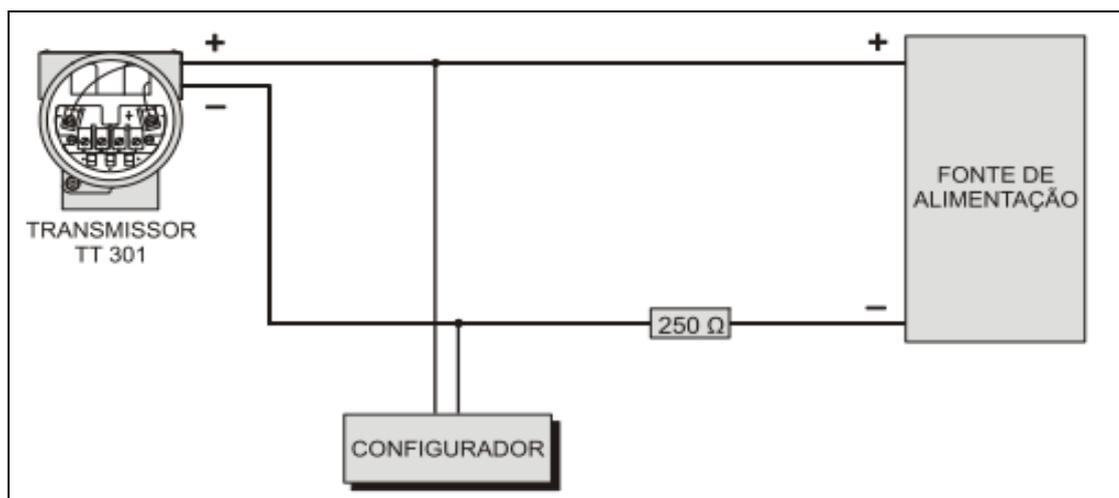


Figura 28 – Esquema de Ligação do Transmissor de Temperatura.
Fonte: SMAR (2014).

3.2 SISTEMA MEDIDOR DE VAZÃO POR CORIOLIS

O princípio de medição baseia-se na geração controlada de forças de Coriolis. Essas forças estão sempre presentes quando são sobrepostos movimentos tanto de translação quanto de rotação, conforme a equação (6) (PROMASS, 2003).

$$F_c = 2 \cdot \Delta m \cdot (\omega \cdot v) \quad (6)$$

Onde:

- F_C = força de Coriolis;
- Δm = massa movimentada;
- ω = velocidade angular;
- v = velocidade radial no sistema rotacional ou oscilatório;

Segundo o manual do equipamento, PROMASS 80/83, a amplitude da força de Coriolis depende da massa movimentada (Δm), sua velocidade (v) dentro do sistema, e a vazão mássica. Ao invés da velocidade angular constante (ω), o sensor usa oscilação. Nos sensores modelo F e M, Figura 30, dois tubos de medição paralelos que contém fluido oscilam em antifase, agindo como um diapasão. As forças Coriolis produzidas no tubo medidor causam uma mudança de fase nas oscilações do tubo, conforme a Figura 29:

- Em vazão zero, ou seja, quando o fluido está estático, ambos os tubo oscilam em fase (1);
- A vazão mássica causa desaceleração da oscilação na entrada do tubo (2) e aceleração em sua saída (3).

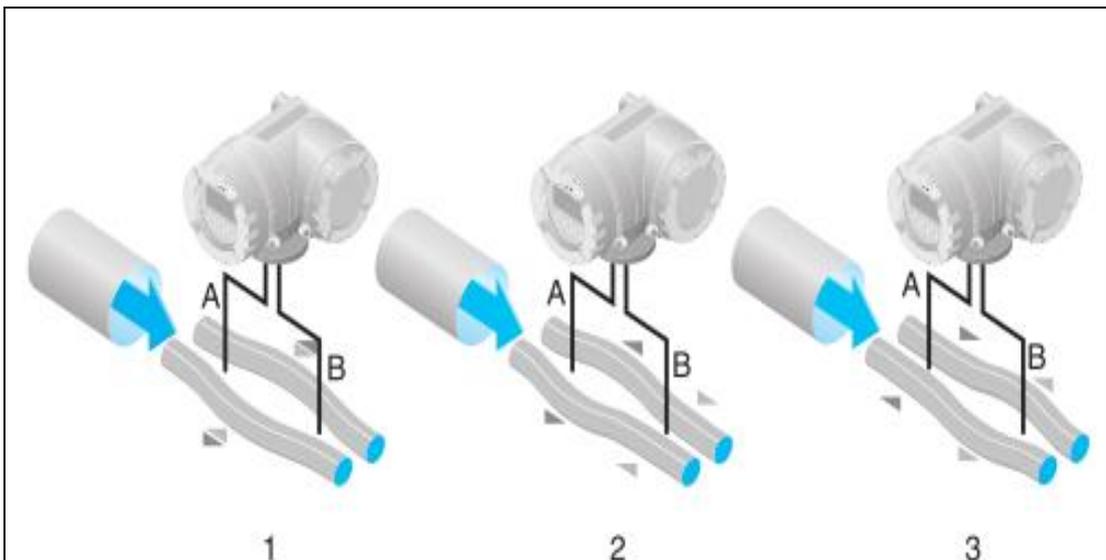


Figura 29 – Mudança de fase nas oscilações do tubo medidor causados pelas forças Coriolis.
Fonte: PROMASS (2003).

A diferença de fases (A-B) na Figura 29, aumenta com o aumento da vazão mássica. Sensores eletrodinâmicos registram as oscilações do tubo na entrada e saída.

O equilíbrio do sistema é garantido pela oscilação em antifase dos dois tubos de medição. O princípio de medição funciona independentemente de temperatura, pressão, viscosidade, condutividade e características do fluxo.

A Figura 30 apresenta os modelos de sensores Coriolis.

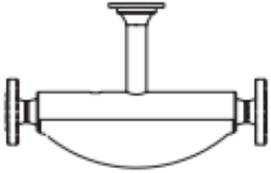
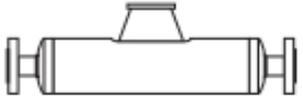
Sensor		
F 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor universal para temperaturas de fluidos de até 200 °C. • Diâmetros nominais DN 8...150 • Material do tubo: aço inoxidável ou Alloy C-22 	Documentação No. TI 053D/06/en
F (Alta temperatura) 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor universal para altas temperaturas de fluido de até 350 °C. • Diâmetros nominais DN 25, 50, 80 • Material do tubo: Alloy C-22 	Documentação No. TI 053D/06/en
M 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor robusto para pressões extremas de processo, altas exigências para o compartimento secundário e temperaturas de fluidos de até 150 °C • Diâmetros nominais DN 8...80 • Material do tubo: titânio 	Documentação No. TI 053D/06/en
A 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de tubo único para medições altamente precisas de baixas vazões • Diâmetros nominais DN 1...4 • Material do tubo: aço inoxidável ou Alloy C-22 	Documentação No. TI 054D/06/en
H 	<ul style="list-style-type: none"> • Tubo curvo único. Baixa perda de carga e material resistente a produtos químicos • Sistema "Fit-and-forget" • Diâmetros nominais DN 8...40 • Material do tubo: zircônio 	Documentação No. TI 052D/06/en
I 	<ul style="list-style-type: none"> • Instrumento de tubo reto e único. Tensão de cisalhamento mínima, design higiênico, baixa perda de carga. • Fit-and-forget: não é necessário nenhum suporte especial para instalação • Diâmetros nominais DN 8...50 • Material do tubo: titânio 	Documentação No. TI 052D/06/en
E 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor de uso geral: substituto ideal para medidores volumétricos. • Diâmetros nominais DN 8...50 • Material do tubo: aço inoxidável 	Documentação Nr. TI 061D/06/en

Figura 30 – Modelo de Sensores Coriolis.
Fonte: PROMASS (2003).

4. PLANTA DE RESINA COM EQUIPAMENTO PROFIBUS-PA

Cassiolato (2012) afirma que o perfil PA define os parâmetros dos dispositivos e o comportamento de dispositivos típicos, tais como, transmissores de variáveis, posicionadores etc, independente do fabricante, facilitando assim a intercambiabilidade do dispositivo e a total independência do fabricante.

Como um padrão do sinal de saída para o medidor de vazão por Coriolis foram adotados para a interface PROFIBUS-PA:

- PROFIBUS-PA em concordância com a norma EN 50170 volume 2, IEC 61158-2, isolada galvanicamente;
- Taxa de transmissão de dados, (*baudrate*) suportado: 31,25 kbit/s;
- Consumo de corrente: 11 mA;
- Tensão de fornecimento permitida: 9 a 32 V;
- Corrente de erro FDE (*Fault Disconnection Electronic*): 0 mA;
- Codificação do sinal: *Manchester II*;
- Blocos de função: 6 entradas analógicas, 3 totalizadores;
- Dados de saída: vazão mássica, vazão volumétrica, vazão volumétrica corrigida, densidade, densidade padrão, temperatura, totalizadores;
- Dados de entrada: detecção de tubo vazio (ON/OFF), ajuste ponto zero, modo de medição, totalizador de controle;
- Endereço de rede ajustável via interruptores no próprio instrumento.

Alguns dos modelos do medidor de vazão por Coriolis compatíveis com o protocolo PROFIBUS-PA disponíveis no mercado são apresentados no Quadro 14:

Fabricante	Modelo
Endress+Hauser	PROline Promass 80/83 modelo F, M
Emerson Process Management	Sensores Micro Motion com tecnologia MVD™, da série 2000
SIEMENS	SITRANS modelo F C

Quadro 14 – Modelos do medidor de vazão por Coriolis disponíveis no mercado compatíveis com o protocolo PROFIBUS-PA.

Fonte: Autoria própria.

Para o sistema de medição e controle de temperatura compatíveis com o protocolo PROFIBUS-PA poderemos destacar os equipamentos disponíveis no mercado estão apresentados no Quadro 15.

Fabricante	Modelo
Endress+Hauser	iTEMP TMT162R
Emerson Process Management	Rosemount 644
SIEMENS	SITRANS T3K PA
SMAR	TT303

Quadro 15 – Modelos de transmissores de temperatura disponíveis no mercado compatíveis com o protocolo PROFIBUS-PA .

Fonte: Autoria própria.

Os principais ganhos de se utilizar o PROFIBUS contra o 4 a 20mA tradicionais podem ser resumidos como:

Redução do custo de engenharia através:

- Redução do número de equipamentos;
- Redução da documentação;

Redução do custo de instalação e comissionamento:

- Redução do custo com cabos (40%), caixas de terminais, bandejamento e dutos, gabinetes e espaço na sala elétrica.
- Fácil modificação, geralmente sem a necessidade de troca de fiação
- Dispositivos multifuncionais reduzem o número de taps de processo.

Redução do custo de operação:

- Melhor capacidade de diagnóstico, redução do tempo de parada;
- Informação disponível em maior quantidade e qualidade facilitando a análise do processo e otimização;

Melhoria e aumento da funcionalidade segurança do sistema:

- A redução de hardware diminui as fontes de erros;
- Facilita e agiliza a manutenção;
- Tempos de paradas mais curtos;
- Mecanismo de Fail Safe e tratamento de status entre os blocos funcionais;
- Tempos de ciclo muito curtos;

Maior número de fabricantes de equipamentos:

- Maior número de opções para o cliente;
- Maior número de aplicações nas indústrias;
- Maior concorrência e menor custo dos equipamentos;
- Interoperabilidade e intercambiabilidade entre fabricantes;

Para efeito de instalação faremos um breve comparativo entre os dois processos HART x PROFIBUS-PA.

Protocolo HART	Protocolo PROFIBUS-PA
Meio físico: par trançado;	Meio físico de acordo com norma IEC 61158-2, variante H1
Taxa de Transmissão: 1200 bps;	Taxa de Transmissão: 31.25 kbit/s
Transmissão assíncrona a nível de caracteres UART (1 start bit, 8 bits de dados, 1 bit de paridade e 1 stop bit);	Para a transmissão dos parâmetros dos instrumentos e a operação dos equipamentos com ferramentas de engenharia, as funções acíclicas READ/WRITE do PROFIBUS DP são utilizadas
Tempo médio de aquisição de um dado: 378,5 ms;	Transmite 1 kByte de dado de entrada e saída em menos de 2ms;
Método de acesso ao meio: Mestre/escravo;	Comunicação Mono e multi mestres;
Topologia: Ponto a ponto ou <i>multidrop</i> , onde todos os componentes são conectados pelo mesmo cabo. O protocolo permite o uso de até dois mestres. O mestre primário é um computador ou CLP ou multiplexador. O mestre secundário é geralmente representado por terminais <i>hand-held</i> de configuração e calibração;	Topologia: Barramento, árvore/estrela, ponto-a-ponto; Cada equipamento de campo possui um endereço físico e único no barramento. Interligados e alimentados via barramento fieldbus.
Modulação: O sinal Hart é modulado em FSK (<i>Frequency Shift Key</i>) e é sobreposto ao sinal analógico de 4-20 mA. Para transmitir 1 é utilizada a frequência de 1200 Hz. Para transmitir 0 é utilizada a frequência de 2400 Hz. A comunicação é bidirecional. O sinal FSK é contínuo em fase, não impondo nenhuma interferência sobre o sinal analógico.	Sinal de comunicação: codificação Manchester com a modulação de corrente
A distância máxima do sinal HART é de cerca de 3000m com cabo com um par trançado blindado e de 1500m com cabo múltiplo com blindagem simples.	<ul style="list-style-type: none"> • Permite 4 repetidores: distâncias até 10Km; • Cabeamento máximo de 1900m, sem repetidores; • Spur max de 120m/spur;
	Alimentação: via barramento ou externa, 9-32Vdc em áreas não intrinsecamente seguras;
	Status : Segue uma Lógica dividida em 3 categorias: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Quality; ▪ SubStatus; ▪ Limits;
	Fail Safe <ul style="list-style-type: none"> ▪ Condição de segurança que o bloco entra quando o algoritmo detecta uma situação de falha; ▪ Os 3 blocos (Entrada Analógica, Saída Analógica e Totalização) possuem o mecanismo de Fail Safe;

	<p>Interoperabilidade e intercambialidade devido ao perfil PROFIBUS-PA</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Blocos Funcionais; ▪ Diagnósticos disponíveis nos instrumentos, facilitando a manutenção; <p>Baixo consumo de energia;</p>
	<p>Possibilidades de uso em áreas classificadas (Zonas 0, 1, e 2) em modo Intrinsecamente Seguro (Ex ia/ib).</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Permite no máximo 32 equipamentos (non-"Ex") por segmento, num total de 126 equipamentos; ▪ Aproximadamente 9 equipamentos (Explosion Group IIC); <p>Aproximadamente 23 equipamentos (Explosion Group IIB);</p>

Quadro 16 – Principais características HART 94 a 20 mA x PROFIBUS PA.

Fonte: Autoria própria

5. CONCLUSÃO

Com o grande avanço tecnológico, os sistemas de automação e controle tem se apoiado cada vez mais em redes de comunicação industriais, levado pela crescente complexibilidade dos processos industriais.

Os processos industriais estão cada vez mais complexos, necessitando de um grande número de elementos de controle para permitir decisões mais rápidas e possibilitar o aumento da produtividade e eficiência do processo.

A mudança do controle de processo da tecnologia 4 a 20 mA para as redes digitais e sistemas abertos já se encontram num estágio de maturidade tecnológica. Essa mudança é encarada como um processo natural demandado pelos novos requisitos de qualidade, confiabilidade e segurança do mercado. Os protocolos digitais proporciona aumento de produtividade pela redução das variabilidades dos processos e redução dos tempos de indisponibilidade das malhas de controle.

Algumas das vantagens potenciais da utilização do protocolo PROFIBUS-PA são funcionais, tais como transmissão de informações confiáveis, tratamento de *status* das variáveis, sistema de segurança em caso de falha, equipamentos com capacidades de autodiagnose, rangeabilidade dos equipamentos, alta resolução nas medições, integração com controle discreto em alta velocidade, aplicações em qualquer segmento, etc, e econômicas pertinentes às instalações, com redução de até 40% em relação aos sistemas convencionais, custos de manutenção, com redução de até 25% em relação aos sistemas convencionais, menor tempo de *startup*, além de, oferecer um aumento significativo em funcionalidade e segurança.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Pedro U. B. de; ALEXANDRIA, Auzuir R. de. **Redes industriais: aplicações em sistemas digitais de controle distribuído**. Fortaleza: Edições Livros Técnicos, 2007. Acesso em: 10 out. 2014.

Associação PROFIBUS Brasil - **PROFIBUS – Descrição Técnica.**, São Paulo, Outubro 2000. Disponível em: <http://www.profibus.com.br>>. Acesso em: 05 nov. 2014.

ESTECA, Alexandre; CAIRES, Richard R. **Trabalho Redes PROFIBUS – CENTRO UNIVERSITÁRIO SALESIANO de SÃO PAULO, UNIDADE de ENSINO de CAMPINAS**. MAIO/2006. Acesso em: 15 out. 2014.

ARAÚJO FILHO, Clideonor F. de. **Redes industriais**. 2005. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABTHQAL/redes-industriais-parte2>>. Acesso em: 15 out. 2014.

BARATA, Felipe. **Redes de campo em automação**. Monografia. IST – MEEC. 2007 Smar (2002). HART Tutorial, www.smar.com, maio/2010. Acesso em: 10 out. 2014.

BERGE J. (2002). **Fieldbus for Process Control: Engineering, Operation and Maintenance**. Research Triangle Park: ISA Books. Acesso em: 10 out. 2014.

BORGES, Johny de F. **Redes industriais de comunicação**. Apostila do curso de fundamentos de redes Industriais e aplicações. 2009. International Society of Automation – ISA Vitória – www.isa-es.org.br. Acesso em: 05 nov. 2014.

BRANDÃO, D. (2005). **Ferramenta de simulação para projeto, avaliação e ensino de redes fieldbus**. 151f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005. Acesso em: 22 set. 2014.

CHEN, D.; MOK, A. K. **Developing new generation of process control systems**. In: IEEE Real-Time Embedded System Workshop, 2001, San Diego, USA. Acesso em: 22 set. 2014.

CASSIOLATO, César; TORRES, Leandro H. B; PADOVAN Marco A. **Profibus – descrição técnica**. 2012. Disponível em: <http://http://www.profibus.org.br/files/DescricaoTecnica/PROFIBUS_DESC_TEC_2012.pdf>. Acesso em: 22 set. 2014.

CERTUSS. Geradores de Vapor. **CERTUSS Universal 500 - 1800 TC**. Disponível em: <http://www.certuss.com/pt/produkte/produktuebersicht.html#tab0>. Acesso em: 10 jul. 2014.

FONSECA, Eric Bezerril. **Redes industriais: protocolo de comunicação HART. 2009**. 48f. (Trabalho de conclusão de curso) – Curso de Engenharia de Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2009.

HART BOOK. **HART overview**. Disponível em: <www.theHARTbook.com/technical.htm>. Acesso em: 30 ago. 2014.

HARTCOMM. **HART communication protocol**. Disponível em: <www.hartcomm.org>. Acesso em 20 jun. 2014.

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

MATTA, Rogério Souza. **A tecnologia HART na indústria**. Mecatrônica Atual, n. 19, 2004, n. 20, 2005, n. 21, 2005 e n. 22, 2005. Disponível em: <www.mecatronicaatual.com.br>. Acesso em: 11 mar. 2014.

PIRAMIDE. Moinhos Pirâmide Equipamentos e Soluções Industriais. **Reatores Químicos**. Disponível em: <http://www.moinhopiramide.com.br/>. Acesso em: 10 jul. 2014.

PROMASS - **Sistema Medidor de Vazão por Coriolis PROline promass 80/83 F, M** - Informação técnica TI053D/38/pt/10.03 - Disponível em: <http://www.br.endress.com/pt/Tailor-made-field-instrumentation/Flow-measurement-product-overview?filter1.product-family=promass&filter1.product-measurement-method=coriolis&filter1.page=3> - Acesso em: 05 nov. 2014

SMAR - **PROFIBUS-PA – Manual dos Procedimentos de Instalação, Operação e Manutenção** - Português. Jul/2009, versão 2. Disponível em: <http://www.smar.com//PDFs/Manuals/GERAL-PAMP.pdf> - Acesso em Acesso em: 22 set. 2014.

SMAR - **Manual de Instruções, Operação e Manutenção TT301** – (versão 4) JUL/14. Disponível em: <http://www.smar.com//PDFs/manuals/TT301MP.pdf> - Acesso em: 05 nov. 2014.

SEIXAS FILHO, Constantino. **A automação nos anos 2000: uma análise das novas fronteiras da automação**. CONAI, 2000. Disponível em: <http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas/PaginaII/Download/DownloadFiles/Conai2000Automacao.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2014.

SEIXAS FILHO, Constantino. **Introdução ao protocolo HART**. Disponível em: <www.cpdee.ufmg.br/~seixas>. Acesso em: 30 ago. 2014.

SAMSON. *HART Communications*. Disponível em: <http://www.samson.de/pdf_en/l452en.pdf >. Acesso em 11 mar. 2014.

TRANE. Trane do Brasil. **Chillers**. Disponível em: <http://www.trane.com/commercial/latin-america/br/pt/products-systems/equipment/chillers/air-cooled-chillers/seriesr-rtac.html>. Acesso em: 10 jul. 2014.