TECNOLOGIA PROFIBUS

UM POUCO DE HISTÓRIA E CENÁRIO ATUAL

A história do PROFIBUS começa na aventura de um projeto da associação apoiado por autoridades públicas, que iniciou em 1987 na Alemanha. Dentro do contexto desta aventura, 21 companhias e institutos uniram forças e criaram um projeto estratégico em fieldbus. O objetivo era a realização e estabilização de um barramento de campo bitserial, sendo o requisito básico a padronização da interface de dispositivo de campo. Por esta razão, os membros relevantes das companhias do ZVEI (Associação Central da Indústria Elétrica) concordaram em apoiar um conceito técnico mútuo para manufatura e automação de processos.

Um primeiro passo foi a especificação do protocolo de comunicações complexas Profibus-FMS (Especificação de Mensagens Fieldbus), que foi preparado para exigência de tarefas de comunicação.

Um passo mais adiante em 1993 foi a conclusão da especificação para uma variante mais simples e com comunicação mais rápida, o PROFIBUS-DP (Periferia Descentralizada). Este protocolo está disponível agora em três versões funcionais, o DP-V0, DP-V1 e DP-V2.
Baseado nestes dois protocolos de comunicação, acoplado com o desenvolvimento de numerosos perfis de aplicações orientadas e um número de dispositivos de crescimento rápido, o PROFIBUS começou seu avanço inicialmente na automação manufatura e desde 1995 na automação de processos com a introdução do PROFIBUS-PA. Hoje, o PROFIBUS é o barramento de campo líder no mercado mundial.

O PROFIBUS é um padrão de rede de campo aberto e independente de fornecedores, onde a interface entre eles permite uma ampla aplicação em processos, manufatura e automação predial. Esse padrão é garantido segundo as normas EN 50170 e EN 50254. Desde janeiro de 2000, o PROFIBUS foi firmemente estabelecido com a IEC 61158, ao lado de mais sete outros fieldbuses. A IEC 61158 está dividida em sete partes, nomeadas 61158-1 a 61158-6, nas quais estão as especificações segundo o modelo OSI. Nessa versão houve a expansão que incluiu o DPV-2. 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.

INTRODUÇÃO

O Profibus é um protocolo digital utilizado em sistemas de controle, que permite a conexão com interoperabilidade de diversos equipamentos e fabricantes. Possui uma série de vantagens em relação à tecnologia 4-20 mA, onde resumidamente pode-se citar, dentre outras:

- Fácil cabeamento com redução de custos;
- Simples operação, através da sala de controle;
- Aplicações em área classificadas;
- Altas taxas de comunicação no Profibus-DP;
- Poderosas ferramentas de configuração/parametrização e gerenciamento de ativos;
- Tecnologia aberta e em contínua evolução.

Neste artigo veremos detalhes sobre a tecnologia Profibus.

NÚMEROS EXPRESSIVOS

Hoje, estima-se mais de 40 milhões de nós instalados com tecnologia PROFIBUS e mais de 1500 plantas com tecnologia PROFIBUS-PA. São várias organizações regionais (RPAs) e Centros de Competência em PROFIBUS (PCCs), localizados estrategicamente em diversos países, de modo a oferecer suporte aos seus usuários:

- Mais de 3000 produtos disponíveis.
- Mais de 1200 produtos nos últimos 3 anos.
- Mais de 1.000.000 de instalações e mais de 56 milhões de nós instalados.
- Mais de 30 Milhões de nós DP instalados.
- Mais de 11 Milhões de nós PA instalados.
- 10 Milhões de nós vendidos nos últimos 3 anos.
- Mais de 20 Milhões de nós PROFINET instalados.
- Mais de 9 Milhões de nós ProfiSafe instalados.
- Mais de 2000 fornecedores.
- Brasil: um dos maiores parques instalados!
- Um extensivo catálogo de produtos pode ser obtido no site www.PROFIBUS.com

ARQUITETURA DO SISTEMA DE CONTROLE DE PROCESSO

Na prática existem diversos fabricantes de sistemas de controle, assim como várias possibilidades de arquiteturas, mas basicamente deve-se atentar para:

- O número de estações *host* e estações de engenharia;
- O número de controladores;
- A hierarquia da comunicação;
- As atribuições dos dispositivos e equipamentos de campo aos seus respectivos controladores;
- O método de conexão dos equipamentos de campo;
- As condições envolvendo áreas à prova de explosão, segurança intrínseca, emissões eletromagnéticas, condições ambientais, distribuição de cabeamento, aterramento etc.

A figura 1 mostra uma arquitetura típica, onde se tem o controlador Profibus, estações de engenharia, ferramentas de parametrização, acopladores e outros elementos da rede.

Vejamos a seguir detalhes sobre o meio físico, que nos ajudarão a entender melhor as técnicas adequadas de instalações.

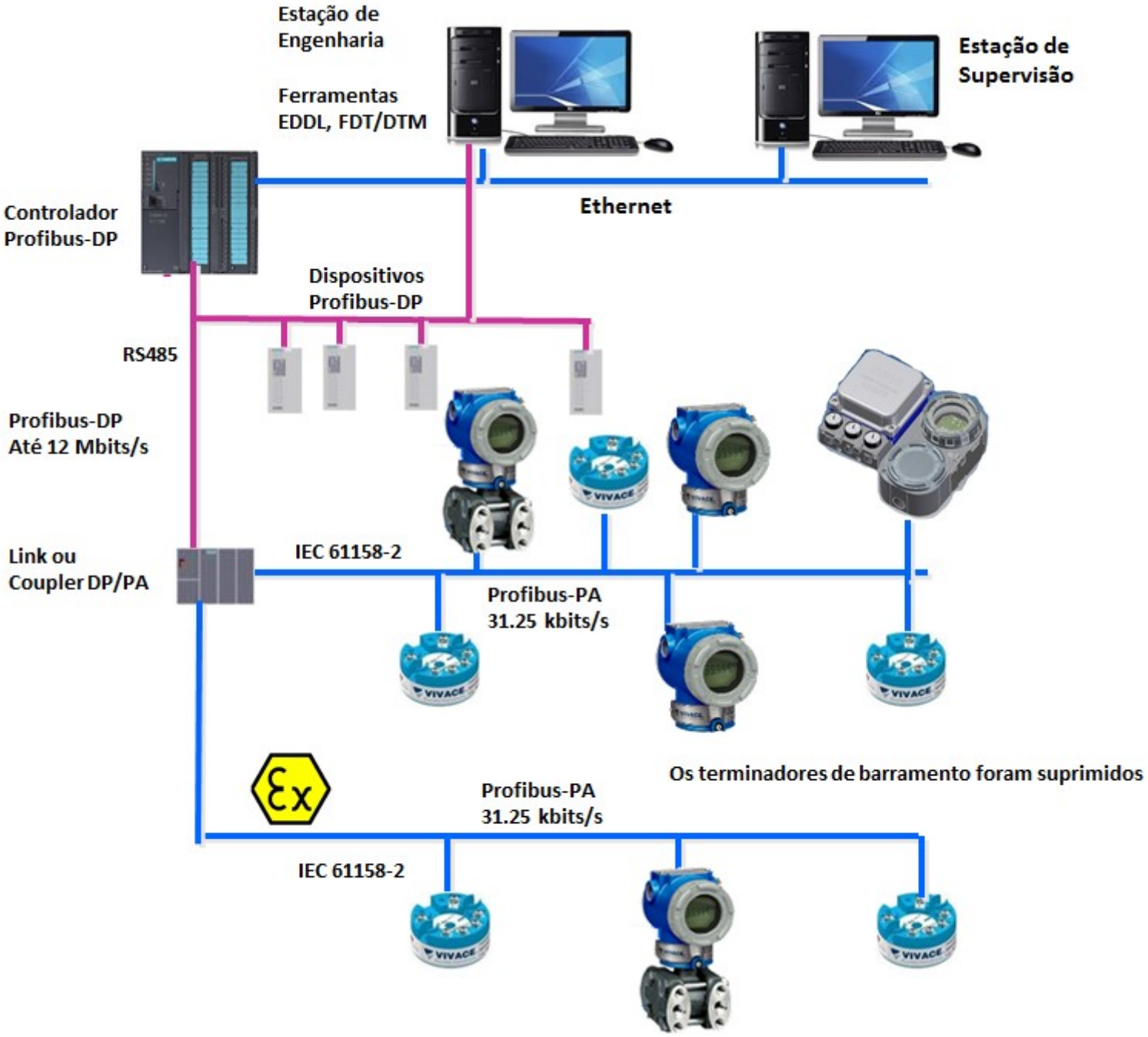


Figura 1 – Arquitetura típica Profibus.

PROFIBUS E O MEIO FÍSICO

No modelo de referência ISO/OSI, a camada 1 define o método de transmissão de dados físico, elétrico e mecânico. Isto inclui o tipo de codificação e o padrão de transmissão utilizado. A camada 1 é chamada de camada física.

O Profibus fornece diferentes versões da camada 1 quanto à tecnologia de transmissão (veja Tabela 1). Todas as versões são baseadas em padrões internacionais e estão declaradas para Profibus em ambas as normas IEC 61158 e IEC 61784.

junto de Perfis	Link de Dados	Camada Física	Implementaç
fil 3/1	Subconjuntos da IEC 61158 Transmissão assíncrona	RS485 Plastic fiber Glass fiber PCF fiber	PROFIBUS
fil 3/2	Subconjuntos da IEC 61158 Transmissão síncrona	MBP	PROFIBUS
fil 3/3	ISO/IEC8802-3 TCP/UDP/IP/Ethernet	ISO/IEC 8802-3	PROFInet

Tabela 1- Propriedades da família do perfil de comunicação CPF3
(CPF – Communication Profile Families, Profibus).

A aplicação de um sistema de comunicação industrial é amplamente influenciada pela escolha do meio de transmissão disponível. Assim sendo, aos requisitos de uso genérico, tais como alta confiabilidade de transmissão, grandes distâncias a serem cobertas e alta velocidade de transmissão, somam-se as exigências específicas da área de automação de processos, tais como operação em área classificada, transmissão de dados e alimentação no mesmo meio físico, dentre outras.

Partindo-se do princípio de que não é possível atender a todos estes requisitos com um único meio de transmissão, existem atualmente três tipos básicos de meio físicos de comunicação disponíveis no Profibus:

- **RS485**- para uso universal, em especial em sistemas de automação da manufatura;
- **IEC 61158-2**- para aplicações em sistemas de automação em controle de processo;
- **Fibra Ótica**- para aplicações em sistemas que demandam grande imunidade às interferências e grandes distâncias.

Obs: *Atualmente, produtos com tecnologia infravermelho e* wireless *já estão disponíveis.*

Links e acopladores são dispositivos para acoplamento entre vários meios de transmissão. Enquanto o termo Acoplador (*Coupler*) aplica-se a dispositivos que implementam o protocolo somente no que refere-se ao meio físico de transmissão, o termo *Link* aplica-se aos dispositivos inteligentes que oferecem maiores opções na operação entre sub-redes.

PROFIBUS-DP

O PROFIBUS-DP é a solução de alta velocidade (high-speed) do PROFIBUS. Seu desenvolvimento foi otimizado especialmente para comunicações entres os sistemas de automações e equipamentos descentralizados. Voltada para sistemas de controle, onde se destaca o acesso aos dispositivos de I/O distribuídos. É utilizada em substituição aos sistemas convencionais 4 a 20 mA, HART ou em transmissão com 24 Volts. Utiliza-se do meio físico RS-485 ou fibra ótica. Requer menos de 2 ms para a transmissão de 1 kbyte de entrada e saída e é amplamente utilizada em controles com tempo crítico.

Pelo menos 90% das aplicações envolvendo escravos Profibus utilizam-se do PROFIBUS-DP. Essa variante está disponível em três versões: DP-V0, DP-V1 e DP-V2. A origem de cada versão aconteceu de acordo com o avanço tecnológico e a demanda das aplicações exigidas ao longo do tempo.

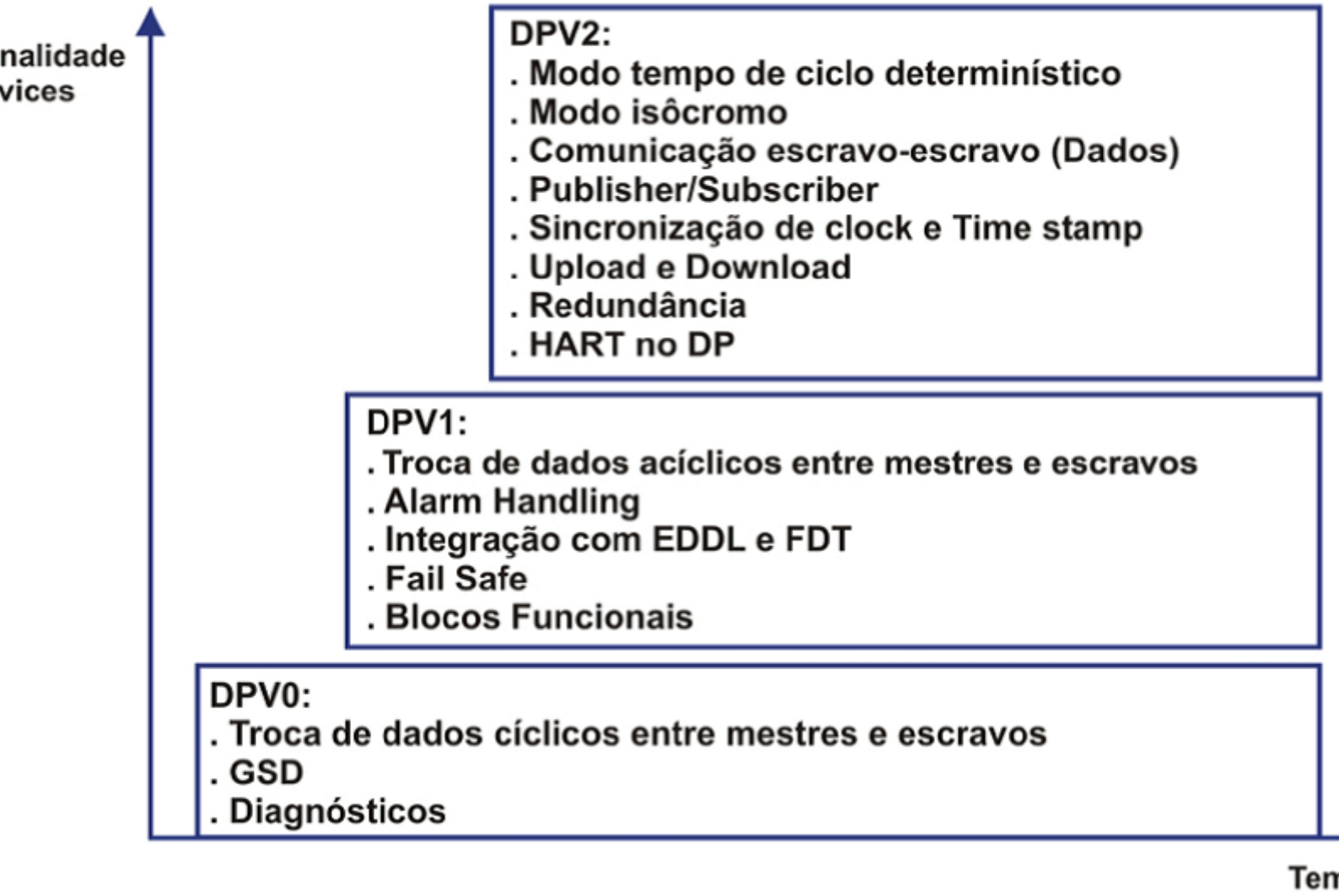


Figura 2 – Versões do Profibus.

PROFIBUS-PA

O PROFIBUS-PA é a solução PROFIBUS que atende os requisitos da automação de processos, onde se tem a conexão de sistemas de automação e sistemas de controle de processo com equipamentos de campo, tais como: transmissores de pressão, temperatura, conversores, posicionadores, etc. Pode ser usada em substituição ao padrão 4 a 20 mA.

Existem vantagens potenciais da utilização dessa tecnologia, onde resumidamente destacam-se 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.). Além dos 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, oferece um aumento significativo em funcionalidade e segurança.

O PROFIBUS-PA permite a medição e controle por uma linha a dois fios simples. Também permite alimentar os equipamentos de campo em áreas intrinsecamente seguras. O PROFIBUS-PA permite a manutenção e a conexão/desconexão de equipamentos até mesmo durante a operação sem interferir em outras estações em áreas potencialmente explosivas. O PROFIBUS-PA foi desenvolvido em cooperação com os

usuários da Indústria de Controle e Processo (NAMUR), satisfazendo as exigências especiais dessa área de aplicação:

- O perfil original da aplicação para a automação do processo e interoperabilidade dos equipamentos de campo dos diferentes fabricantes.
- Adição e remoção de estações de barramentos mesmo em áreas intrinsecamente seguras sem influência para outras estações.
- Uma comunicação transparente através dos acopladores do segmento entre o barramento de automação do processo PROFIBUS-PA e do barramento de automação industrial PROFIBUS-DP.
- Alimentação e transmissão de dados sobre o mesmo par de fios baseado na tecnologia IEC 61158-2.
- Uso em áreas potencialmente explosivas com blindagem explosiva tipo “intrinsecamente segura” ou “sem segurança intrínseca”.

A conexão dos transmissores, conversores e posicionadores em uma rede PROFIBUS-DP é feita por um coupler DP/PA. O par trançado a dois fios é utilizado na alimentação e na comunicação de dados para cada equipamento, facilitando a instalação e resultando em baixo custo de hardware, menor tempo para iniciação, manutenção livre de problemas, baixo custo do software de engenharia e alta confiança na operação.

O protocolo de comunicação PROFIBUS PA usa o mesmo protocolo de comunicação PROFIBUS-DP. Isto porque os serviços de comunicação e mensagens são idênticos. De fato, o PROFIBUS-PA = PROFIBUS-DP - protocolo de comunicação + Serviços Acíclico Estendido + IEC61158 que é a Camada Física, também conhecida como H1. Permite uma integração uniforme e completa entre todos os níveis da automação e as plantas das áreas de controle de processo. Isto significa que a integração de todas as áreas da planta pode ser realizada com um protocolo de comunicação que usa variações diferentes.

RS485

O padrão RS485 é a tecnologia de transmissão mais frequentemente encontrada no Profibus. Sua aplicação inclui todas as áreas nas quais uma alta taxa de transmissão, aliada a uma instalação simples e barata, se faz necessária. Um par trançado de cobre blindado com um único par condutor é o suficiente neste caso.

A tecnologia de transmissão RS485 é muito fácil de ser manuseada. O uso de par trançado não requer nenhum conhecimento ou habilidade especial. A topologia, por sua vez, permite a adição e remoção de estações, bem como um start-up do tipo passo-a-passo, sem afetar outras estações. Expansões futuras, portanto, podem ser implementadas sem afetar as estações que já se encontram em operação.

Uma nova opção é a possibilidade do RS485 também operar em áreas intrinsecamente seguras (RS485-IS, veja explanação no final desta seção).

Taxas de transmissão entre 9,6 kbits/s e 12 Mbits/s podem ser selecionadas, porém uma única taxa de transmissão é selecionada para todos os dispositivos no barramento, quando o sistema é inicializado. Redes Profibus-DP trocam dados segundo a codificação NRZ (Non-Returnto Zero), onde o nível lógico do sinal não se altera durante a transmissão de bits 0 e 1. No Profibus, um caractere é formado por 11 bits (1 start bit, 8 bits de dados, 1 bit de paridade e 1 stop bit). Quando a linha está ociosa, o nível lógico correspondente ao bit 1 é mantido, e só se modifica para o nível 0 quando se inicia um novo start bit.

Até 32 estações podem ser conectadas diretamente, sendo que o máximo comprimento de linha permitido depende da taxa de transmissão.

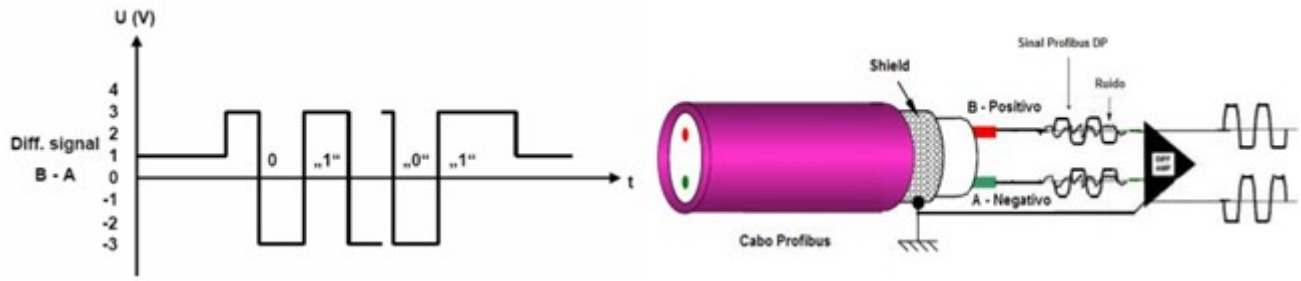


Figura 3 – Sinal típico Profibus-DP com codificação NRZ.

CABEAMENTO

Todos os dispositivos são ligados a uma estrutura de tipo barramento linear. Até 32 estações (mestres ou escravos) podem ser conectadas a um único segmento. O barramento contém um circuito terminador ativo no início e no fim de cada segmento. Para assegurar uma operação livre de erros, ambas as terminações do barramento devem estar sempre ativas, garantindo-se assim potencial pré-determinado de circuito aberto no barramento.

Normalmente estes terminadores encontram-se nos próprios conectores de barramento ou nos dispositivos de campo, acessíveis através de uma dip-switch. No caso em que exista a necessidade de se conectar mais de 32 estações, ou no caso em que a distância total entre as estações ultrapassar um determinado limite, devem ser utilizados repetidores (repeaters) para interconectar diferentes segmentos do barramento.

A tabela 2 indica a pinagem completa em conectores Profibus:

Pino	Sinal	Significado
1	Shield	Blindagem
2	M24	Referência para 24V
3	RxD/TxD-P *	Receive/Transmission +
4	CNTR-P	Sinal de controle para repetidores (direção)
5	DGND *	Referência para 5V
6	VP *	+5V
7	P24	+24V
8	RxD/TxD-N *	Receive/Transmission -
9	CNTR-N	Sinal de controle para repetidores (direção)
		* Sinais obrigatórios

Tabela 2 - Pinagem em conectores SUB D de 9 pinos.

A blindagem do cabo deve ser conectada a cada dispositivo Profibus-DP para prevenir o acoplamento de ruídos eletromagnéticos no sinal. Cada estação escrava deve possuir, portanto, um conector fêmea DB de 9 pinos e fornecer para a linha os potenciais de 5V (VP) e DGND através dos pinos 6 e 5, de forma a ser adequadaà operação dos terminadores de linha.

O sinal 5V (VP) deve ser capaz de entregar no mínimo 10 mA para alimentar os terminadores de linha, que podem estar fisicamente localizados no conector (usualmente) ou no próprio dispositivo.

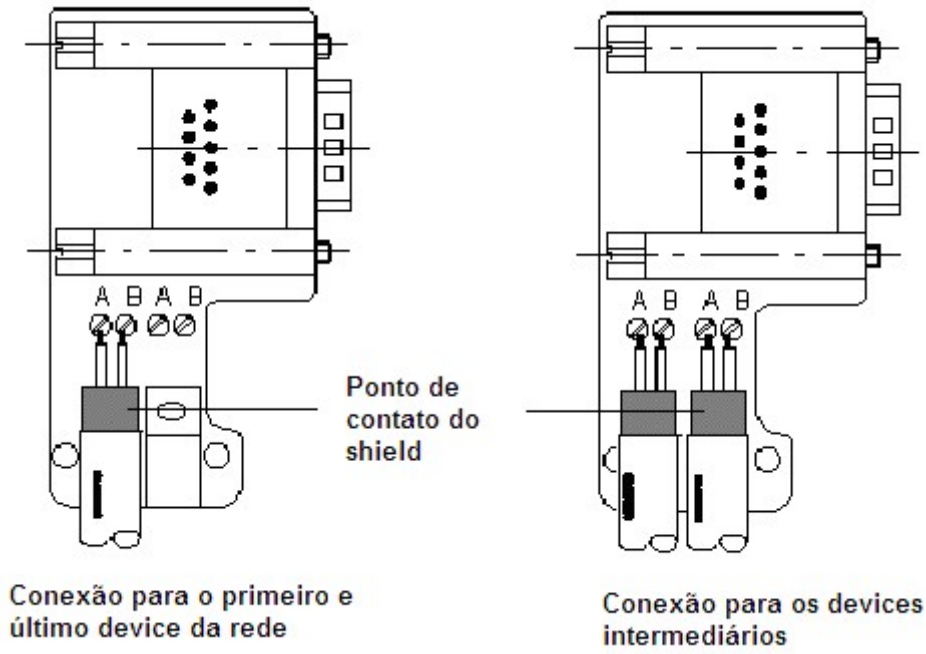


Figura 4 – Conector Profibus-DP DB9.

No caso de redes com taxas de comunicação superiores a 1,5 Mbits/s, a seguinte configuração de terminação deve ser utilizada para compensar reflexões de sinal causadas pela carga capacitiva das estações:

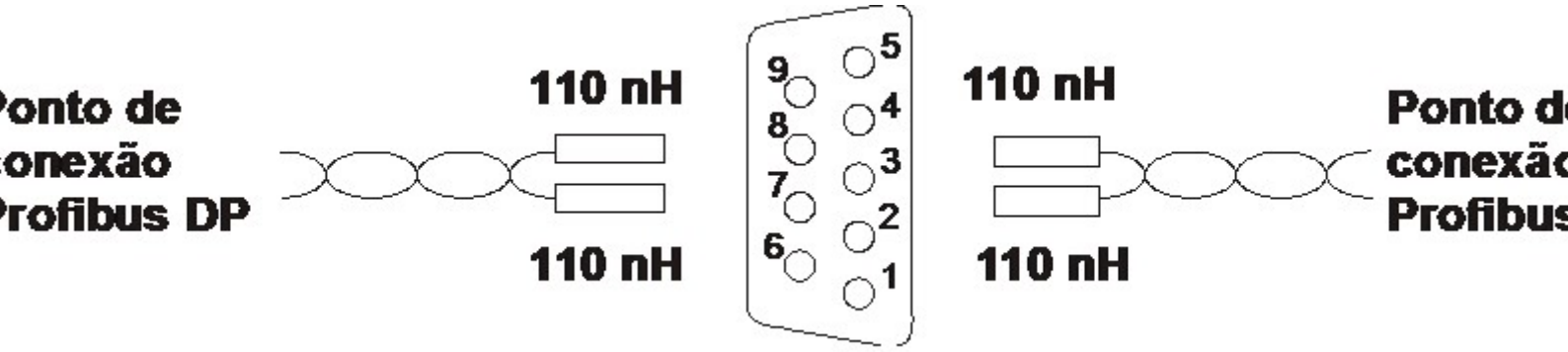


Figura 5 – Ligação de conectores e indutores na rede Profibus-DP.

Estes indutores ajudam a evitar efeito reflexivo proporcionado pelas capacitâncias internas dos equipamentos em cabos com menos de 1 m entre estações DPs. Evite deixar conexões sem a proteção do cabo (stub-lines), que podem favorecer reflexões.

É recomendado deixar sempre mais de 1 m de cabo entre as estações DPs, para que não haja efeito capacitivo entre as estações e a impedância do cabo elimine este efeito. Na condição de menos de 1 m de cabo entre as estações haverá uma soma de capacitâncias de entrada das estações favorecendo as reflexões.



Figura 6 – Sinal Profibus-DP com reflexões.

As características desejáveis de um cabo Profibus-DP são:

- Área condutora: 0,34 mm^2 (AWG 22);
- Impedância: 35 a 165 (nominal 150) nas frequências de 3 a 20 MHz;
- Capacitância: < 30 pF/m;
- Resistência de Loop: < 110 /km;
- Para o cabo tipo A, a maior distância é 1200 m.

Baud Rate(kbit/s)	**TroncoMáximo (m)**	**SpurMáximo (m)**	**MáximaExpansão (m)**
9,6	*500,0*	*500,0*	*10000*
19,2	*500,0*	*500,0*	*10000*
93,75	*900,0*	*100,0*	*10000*
187,5	*967,0*	*33,0*	*10000*
500,0	*380,0*	*20,0*	*4000*
1500,0	*193,4*	*6,6*	*2000*
3000,0	*100,0*	*0,0*	*1000*
6000,0	*100,0*	*0,0*	*1000*
12000,0	*100,0*	*0,0*	*1000*

Tabela 3 – Taxa de transmissão e alcance para cabo tipo A.

A capacitância típica de um dispositivo Profibus-DP conectado (conector, driver RS485, componentes) é de 15 pF a 25 pF. Se um conector alternativo ao DB9 fêmea for utilizado, o fabricante deverá garantir que os níveis de reflexão não extrapolem os limites definidos por norma. Cabos e conectores para Profibus são oferecidos por uma extensa gama de fabricantes.

Durante a instalação, observe atentamente a polaridade dos sinais (positiva e negativa) de dados (pinos 3 e 8). O uso da blindagem é absolutamente essencial para se obter alta imunidade contra interferências eletromagnéticas. A blindagem por sua vez deve ser conectada ao sistema de aterramento em ambos os lados através de bornes de aterramento adequados.

Adicionalmente recomenda-se que os cabos de comunicação sejam mantidos separados dos cabos de alta tensão. O uso de derivação deve ser evitado para taxas de transmissão acima de 1,5 Mbits/s. Os conectores disponíveis no mercado hoje permitem que o cabo do barramento entre e saia diretamente no conector, possibilitando a um dispositivo ser conectado e desconectado da rede sem interromper a comunicação.

Nota-se que quando problemas ocorrem em uma rede Profibus, cerca de 90% dos casos são provocados por

incorreta ligação e/ou instalação. Estes problemas podem ser facilmente solucionados com o uso de equipamentos de teste, os quais detectam falhas nas conexões.

É possível conectar até 126 estações em um sistema Profibus. Para ser capaz de operar com este número de estações, o sistema deve ser dividido em segmentos individuais, conectados por repetidores. Um repetidor, estação escrava, processa o sinal com a finalidade de identificar a comunicação entre estações em segmentos distintos.

Em cada segmento podem se conectar até 32 estações, inclusive o repetidor. É possível configurar segmentos sem estações, de forma a cobrir longas distâncias. Com o uso de fibras óticas, é possível que estações escravos se distanciem em torno de alguns quilômetros. A Vivace disponibiliza um repetidor ótico para Profibus-PA (VRP10-O).

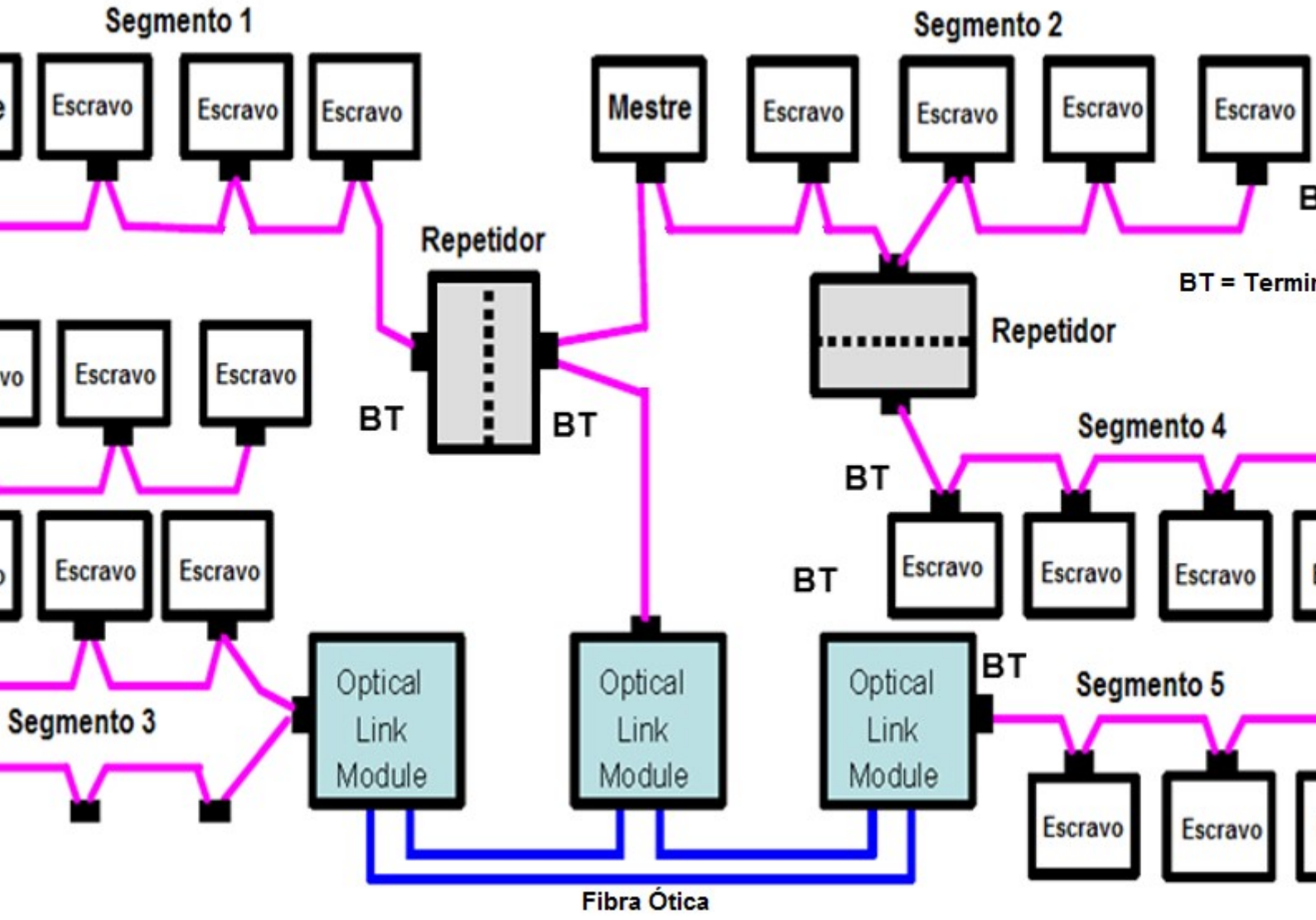


Figura 7 – Repetidores, terminadores e *link*s óticos.

A figura 7 mostra o efeito capacitivo em um segmento pelo excesso de cabo e *spurs*:

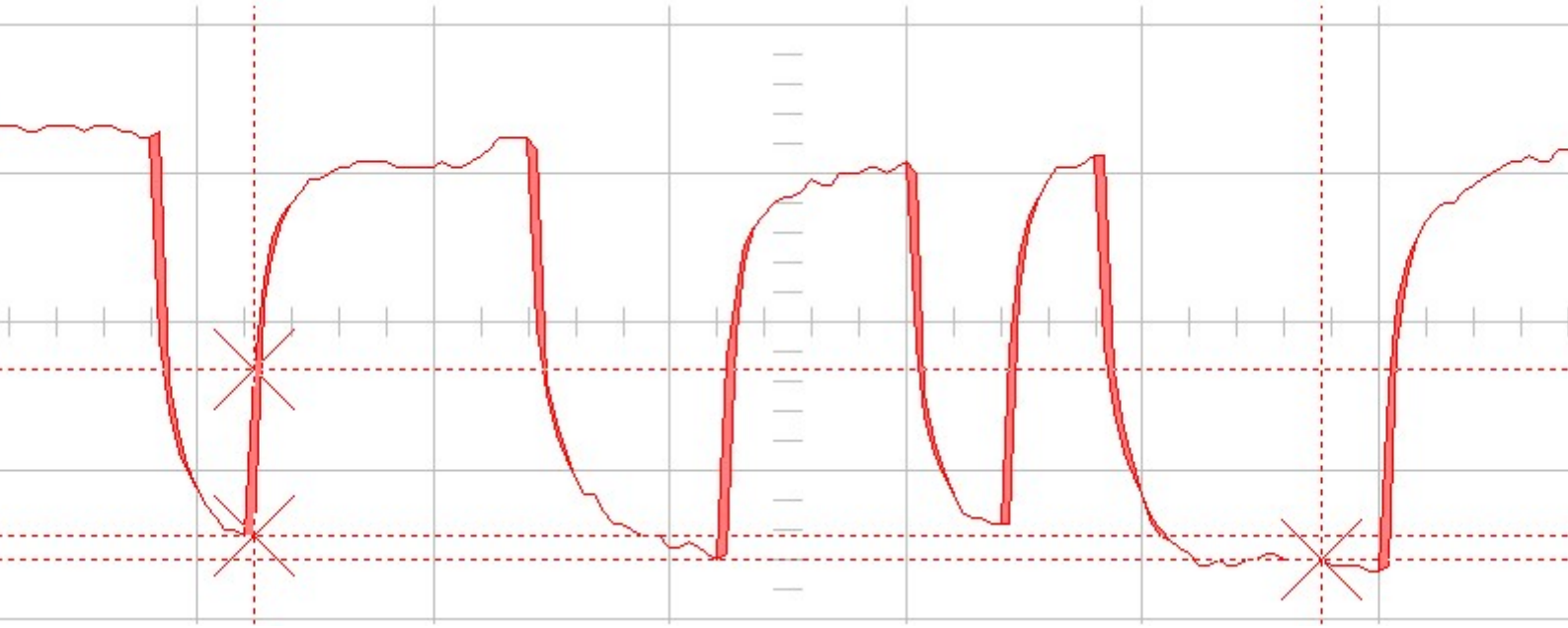


Figura 8 - Efeito capacitivo em um segmento pelo excesso de cabo e *spurs*.

A figura 8 mostra o sinal após a utilização de um repetidor neste mesmo segmento da figura 7:

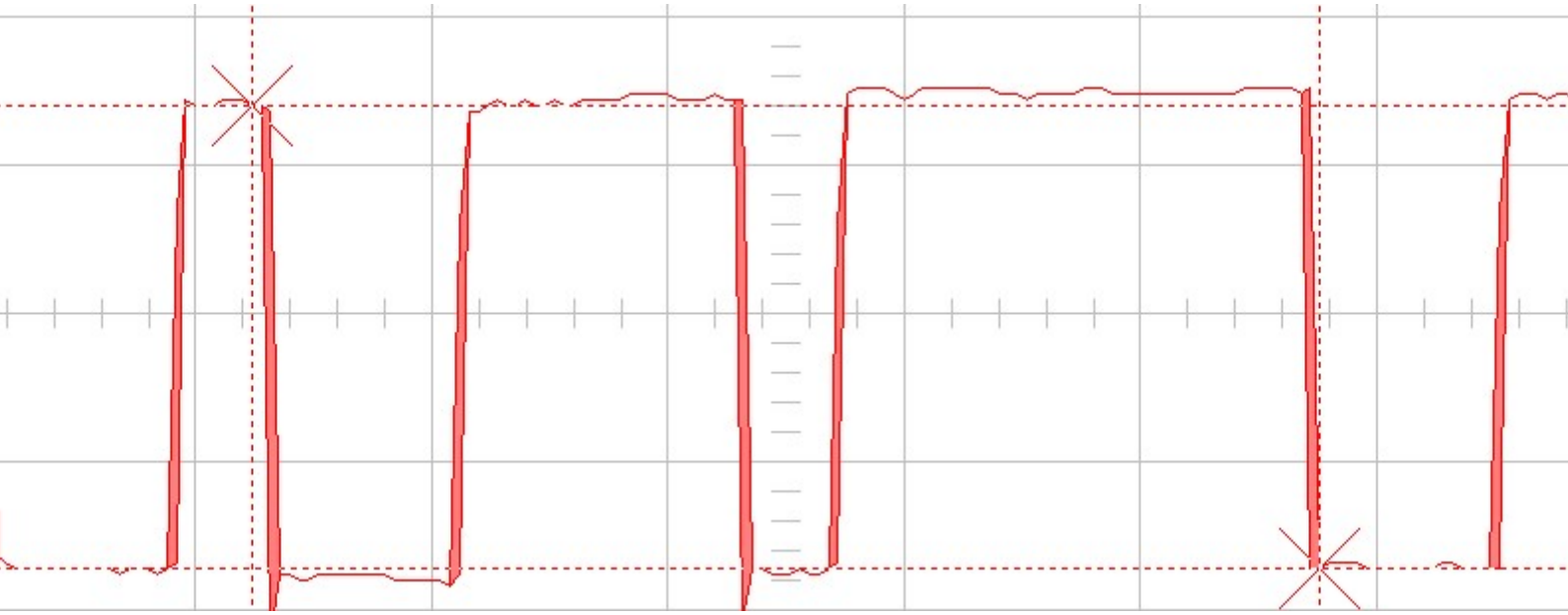


Figura 9 – Sinal corrigido após a instalação do repetidor DP.

PADRÃO RS485-IS

Houve uma grande demanda entre os usuários no apoio ao uso de RS485 com suas taxas de transmissão rápidas em áreas intrinsecamente seguras. O PNO formulou uma diretriz para a configuração de soluções RS485 em áreas intrinsecamente seguras com simples troca de dispositivo.

A especificação da interface detalha os níveis para corrente e tensão que devem ser aderidas por todas as estações para assegurar funcionamento seguro durante a operação. Um circuito elétrico permite a máxima corrente a um nível de tensão especificado. Ao conectar fontes ativas, a soma das correntes de todas as estações não deve exceder a máxima corrente permitida.

Uma inovação do conceito RS485-IS é que, ao contrário do modelo FISCO (veja adiante), que somente tem

uma fonte intrinsecamente segura, todas as estações agora representam fontes ativas. As contínuas investigações da agência de teste nos levam a esperar que seja possível conectar até 32 estações ao barramento intrinsecamente seguro.

A especificação dos detalhes da interface e os níveis para corrente e tensão, que precisam ser aderidos para todas as estações, devem assegurar um funcionamento seguro durante a operação.

Vejamos algumas características:

- Áreas perigosas (Ex-i);
  - RS485-IS: cada estação representa fontes ativas;
  - Tensão de saída máxima (Uo) = 4,2 V;
  - L/R < 15 µH/ (Cabo);
  - Io = 4,8 A;
  - Equipamentos, *Couplers*, *Links* e Terminadores devem atender à classificação;
  - A máxima corrente de um equipamento DP-IS é 0,149 A;
  - A corrente restante de 32 mA é reservada para os 2 BTs ativos;
  - A resistência limitante da corrente vale 28,3 ;
  - Máximo *baud rate*: 1,5 MBits/s.

A figura 9 detalha a terminação para a RS485-IS:

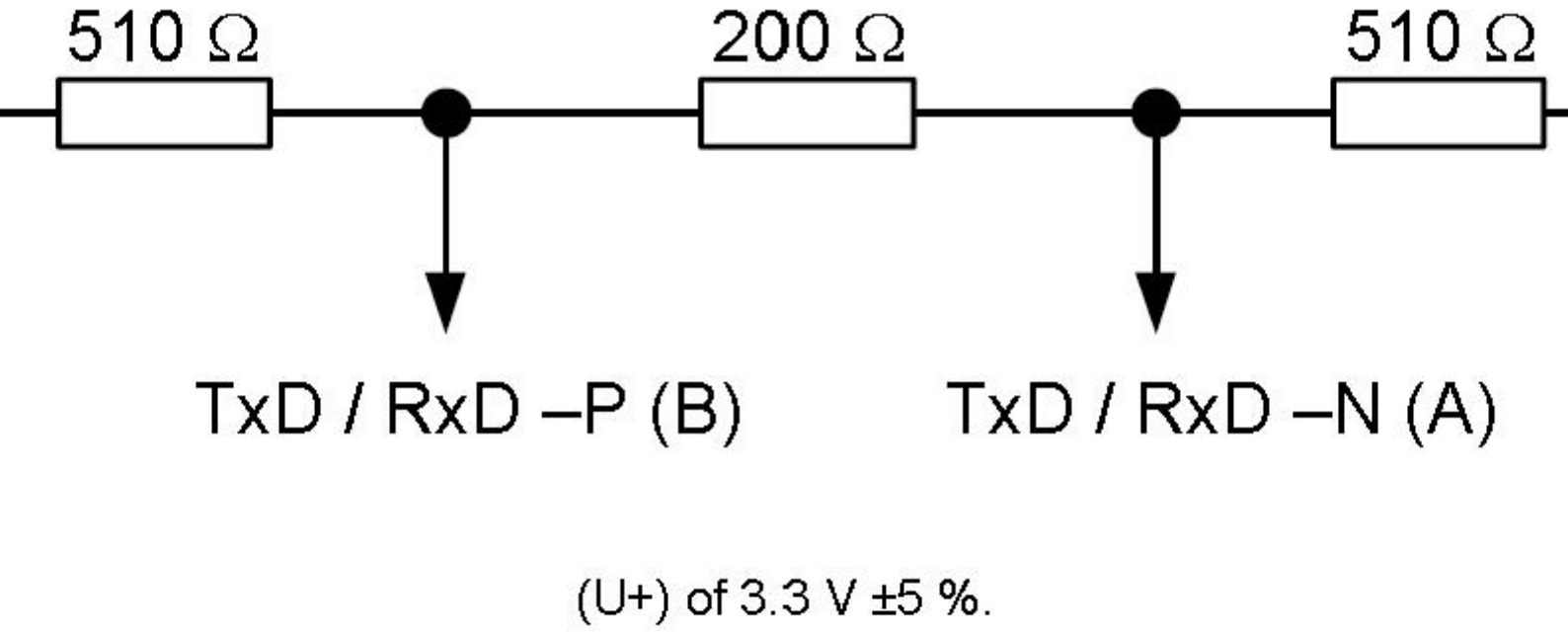


Figura 10 – Terminador RS485-IS.

Para detalhes de *shield* e aterramento, veja a figura 11.

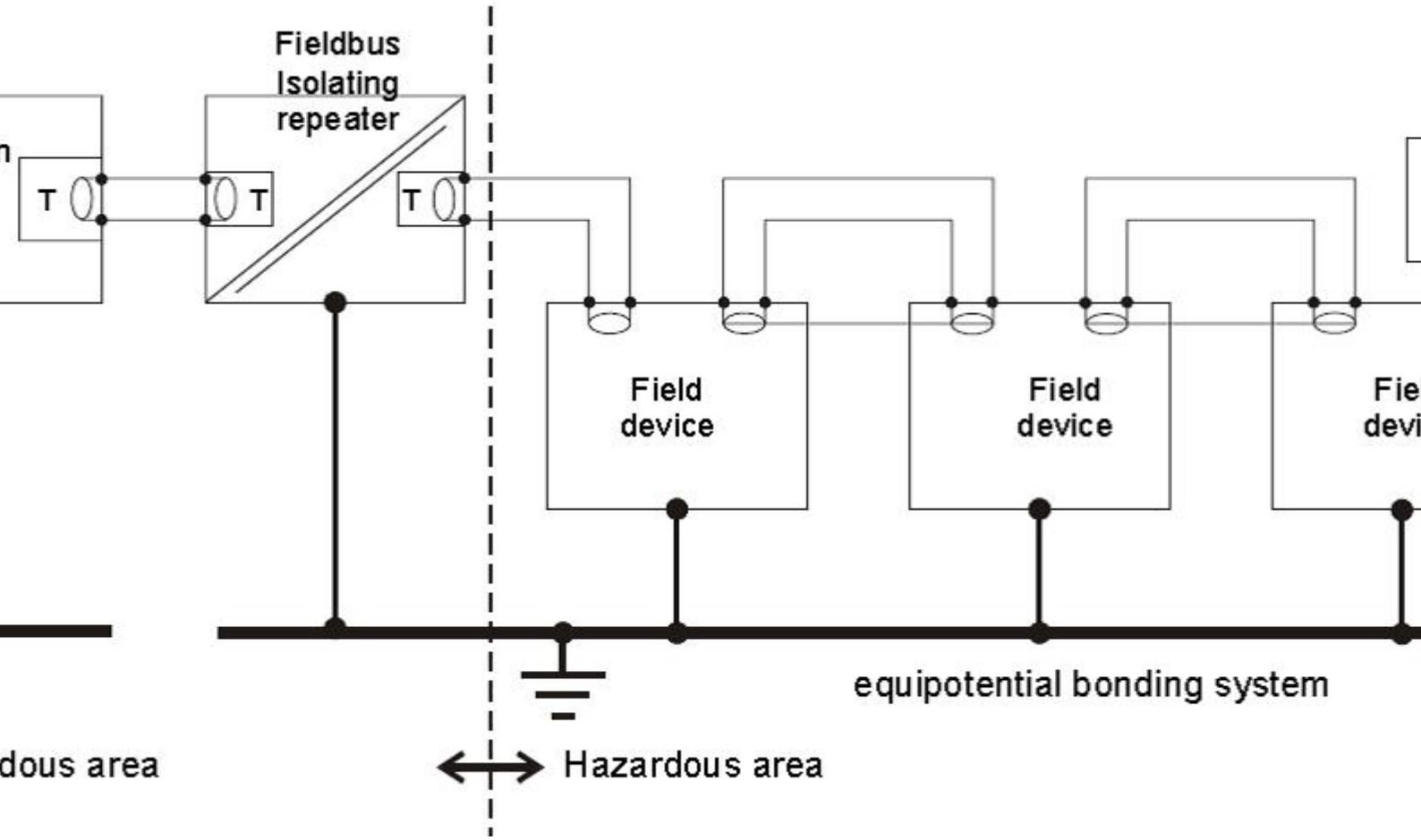


Figura 11 – *Shield* e aterramento no RS485-IS.

Em resumo, devemos verificar para RS485-IS se:

- Os manuais de cada dispositivo estão de acordo com PTB-Mitteilungen/1/;
- Todos os dispositivos estão de acordo com os guias do PNO (Certificado);
- O cabo utilizado está de acordo com as especificações do cabo tipo A (IEC 61158/IEC61784 /3/) (L', C' and R');
- O cabo atende às regulações à prova de explosão (EN 50014 /19/, EN 50020 /5/ e EN 60079-14 /7/, em termos de instalação, diâmetro mínimo do condutor etc);
- A máxima corrente de cada dispositivo DP-IS é <= 0,149 A e a corrente para cada BT é <= 16 mA;
- O número máximo de dispositivos é 32 por segmento;
- A tensão de saída máxima é (Uo) = 4,2 V;
- L/R < 15 µH/ (Cabo);
- Io<= 4,8 A;
- Máximo *baud rate*: 1,5 Mbits/s;
- A distância máxima está aplicada em função do *baud rate*.

Para maiores detalhes consulte a documentação da Profibus International.

MEIO DE TRANSMISSÃO IEC 61158-2

O Profibus-PA é a solução Profibus que atende os requisitos da automação de processos, onde se tem a conexão de sistemas de automação e sistemas de controle de processo com equipamentos de campo, tais como: transmissores de pressão, temperatura, conversores, posicionadores, dentre outros. Pode ser usada em substituição ao padrão 4 a 20 mA.

Existem vantagens potenciais da utilização dessa tecnologia, onde resumidamente destacam-se as vantagens

funcionais (transmissão de informações confiáveis, tratamento de status das variáveis, sistema de segurança em caso de falha, equipamentos com capacidades de auto-diagnóstico, faixa de trabalho dos equipamentos, alta resolução nas medições, integração com controle discreto em alta velocidade, aplicações em qualquer segmento, dentre outras).

Além dos 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) e menor tempo de startup, oferece ainda um aumento significativo em funcionalidade e segurança.

O Profibus-PA permite a medição e controle por uma linha a dois fios simples, podendo ainda alimentar os equipamentos de campo em áreas intrinsecamente seguras. Além disso, possibilita a manutenção e conexão/desconexão de equipamentos até mesmo durante a operação, sem interferir em outras estações em áreas potencialmente explosivas.

O Profibus-PA foi desenvolvido em cooperação com os usuários da Indústria de Controle e Processo (NAMUR), satisfazendo as exigências especiais dessa área de aplicação:

- Perfil original da aplicação para a automação do processo e interoperabilidade dos equipamentos de campo dos diferentes fabricantes;
- Adição e remoção de estações de barramentos mesmo em áreas intrinsecamente seguras, sem influência para outras estações;
- Comunicação transparente através dos acopladores de segmento entre o barramento de automação do processo Profibus-PA e o barramento de automação industrial Profibus-DP;
- Alimentação e transmissão de dados sobre o mesmo par de fios baseado na tecnologia IEC 61158-2;
- Uso em áreas potencialmente explosivas com blindagem explosiva tipo “intrinsecamente segura” ou “sem segurança intrínseca”.

A transmissão síncrona, em conformidade à norma IEC 61158-2, possui uma taxa de transmissão definida em 31,25 Kbits/s, e veio a atender os requisitos das indústrias químicas e petroquímicas. Permite, além de segurança intrínseca, que os dispositivos de campo sejam energizados pelo próprio barramento, possibilitando que a tecnologia seja utilizada em áreas classificadas.

As opções e limites do Profibus com tecnologia de transmissão IEC 61158-2 para uso em áreas potencialmente explosivas são definidas pelo modelo FISCO (Fieldbus Intrinsically Safe Concept). O modelo FISCO foi desenvolvido pelo instituto alemão PTB - Physikalisch Technische Bundesanstalt (Instituto Tecnológico de Física) e é hoje internacionalmente reconhecido como o modelo básico para barramentos em áreas classificadas.

A transmissão é frequentemente referida como H1 e se baseia nos seguintes princípios:

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

No caso da modulação, supõe-se uma corrente básica de pelo menos 10 mA consumida por cada dispositivo no barramento. Através da energização do barramento, esta corrente alimenta os dispositivos de campo e os sinais de comunicação são gerados pelo dispositivo, que os enviará por modulação de + /- 9 mA sobre a corrente básica.

Transmissão de Dados	Digital, sincronizado a bit, código Manchester
Taxa de Transmissão	31,25 kbits/s, modo tensão
Segurança de Dados	Preâmbulo, *start* e *end limiter* e FSC (*frame check sequence*)
Cabos	Par trançado blindado
Alimentação	Via barramento ou externa (9-32 Vcc)
Classe Proteção à Explosão	Segurança Intrínseca (Eex ia/ib) e invólucro (Eex d/m/p/q)
Topologia	Linha ou árvore, ou combinadas.
Número de Estações	Até 32 estações por segmento, máximo de 126
Distância Máxima sem repetidor	1900 m (Cabo tipo A)
Repetidores	Até 4 repetidores

Tabela 4 - Características da IEC 61158-2.

Para operar uma rede Profibus em área classificada é necessário que todos os componentes utilizados na área classificada sejam aprovados e certificados de acordo com o modelo FISCO e IEC 61158-2 por organismos certificadores autorizados, tais como PTB, BVS (Alemanha), CEPEL, UL, FM (EUA).

Se todos os componentes utilizados forem certificados e as regras para seleção da fonte de alimentação, comprimento de cabo e terminadores forem observadas, então nenhum tipo de aprovação adicional do sistema será requerida para o comissionamento da rede Profibus.

FISCO

O conceito FISCO foi otimizado para que seja permitido um número maior de equipamentos de campo, de acordo com o comprimento do barramento, levando-se em conta a variação das características do cabo (R', L' e C') e terminadores, atendendo a categorias e grupos de gases com uma simples avaliação da instalação envolvendo segurança intrínseca.

- R´ = 15 ... 150 Ohm/km;
- L´ = 0,4 ... 1 mH/km;
- C´ = 80 ... 200 nF/km.
- Cabo tipo A = 0,8 mm2 (AWG18)
- Terminadores:
    - R = 90 ... 100 Ohms
    - C = 0 ... 2.2 µF

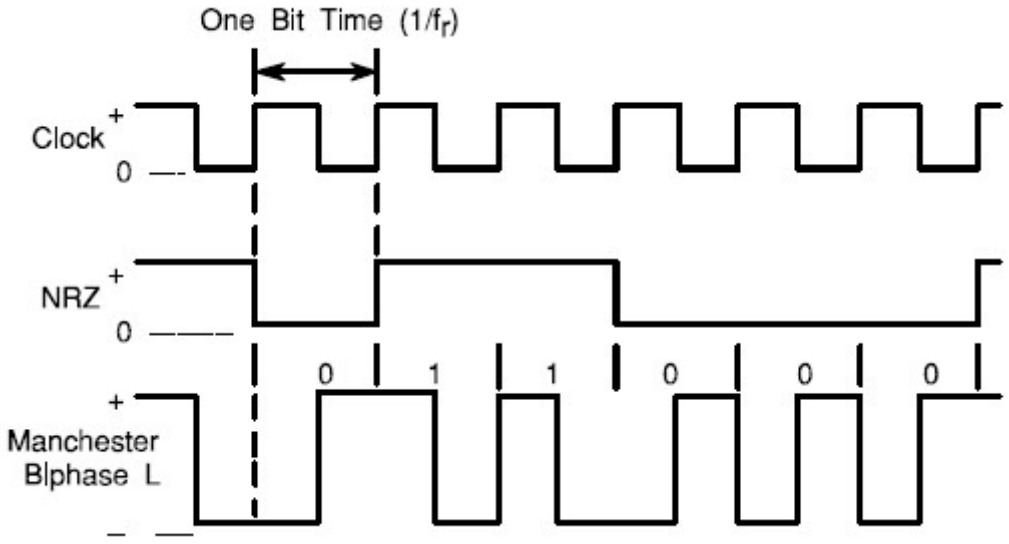


Figura 12– Exemplo de sinal Profibus-PA em modo tensão.

Com isto, aumentou-se a capacidade de corrente por segmento, facilitando a avaliação pelo usuário. Além disso, ao adquirir produtos certificados, o usuário não precisa preocupar-se mais com cálculos, mesmo em substituição durante a operação.

A transmissão de um equipamento tipicamente fornece 10 mA a 31,25 kbit/s em uma carga equivalente de 50 , criando um sinal de tensão modulado de 750 mV a 1000 mV pico a pico. A fonte de alimentação deve fornecer de 9 a 32 Vcc, porém em aplicações seguras (IS) deve-se atender os requisitos das barreiras de segurança intrínseca.

O comprimento total do cabeamento é a somatória do tamanho do trunk (barramento principal) e todos os spurs (derivações maiores que 1 m), sendo que o cabo tipo A deve possuir, no máximo, 1900 m em áreas não-seguras. Em áreas seguras deve possuir, no máximo, 1000 m com o cabo tipo A e os spurs não devem exceder 30 m.

INSTRUÇÕES DE INSTALAÇÃO PARA O IEC 61158-2

Normalmente, na sala de controle estão localizados os sistemas de controle de processo, bem como dispositivos de monitoração e operação interconectados através do padrão RS485. No campo, acopladores (couplers) ou links adaptam os sinais do segmento RS485 aos sinais do segmento IEC 61158-2. Eles também fornecem a corrente para alimentação remota dos dispositivos de campo. A fonte de alimentação limita a corrente e tensão no segmento IEC 61158-2.

Os acopladores de segmento (couplers) são conversores de sinal que adaptam os sinais RS485 ao nível do sinal IEC 61158-2. Do ponto de vista do protocolo os acopladores são transparentes. Se acopladores de segmento são utilizados, a velocidade do segmento RS485 ficará limitada no máximo a 45,45 kbit/s ou 93,75 kbit/s, ou até 12 Mbit/s em se tratando de couplers de alta velocidade.

Os links, por sua vez, possuem sua própria inteligência intrínseca. Eles tornam todos os dispositivos conectados ao segmento IEC 61158-2 em um único dispositivo escravo no segmento RS485. Neste caso não existe limitação de velocidade no segmento RS485, o que significa que é possível implementar redes rápidas, por exemplo, para funções de controle, incluindo dispositivos de campo conectados em IEC 61158-2. Além disso, aumentam a capacidade de endereçamento.

A rede Profibus-PA permite estruturas em árvore ou linha, ou ainda uma combinação das duas. A

combinação geralmente otimiza o comprimento do bus e permite a adaptação de um sistema eventualmente existente.

Cabo	Par trançado blindado
Área do Condutor	0,8 mm^2 (AWG 18)
Resistência de Loop	44 Ohms/Km
Impedância a 31.25 kHz	100 Ohms +/-20%
Atenuação a 39 kHz	3 dB/Km
Capacitância Assimétrica	2 nF/Km

Tabela 5 - Especificação do cabo para IEC 61158-2.

Em uma estrutura linear, os equipamentos de campos são conectados ao cabo principal através de conectores do tipo T ou das chamadas caixas de junções. A estrutura em árvore pode ser comparada à técnica clássica de instalação em campo. O cabo multivias pode ser substituído pelo par trançado do barramento. 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 árvore é utilizada, todos os dispositivos de campo conectados ao segmento de rede são interligados em paralelo ao distribuidor.

Independentemente da topologia utilizada, o comprimento da derivação da ligação deverá ser considerado no cálculo do comprimento total do segmento. Uma derivação não deve ultrapassar 30 m em aplicações intrinsecamente seguras. Um par de fios blindados é utilizado como meio de transmissão. Ambas as terminações do cabo devem possuir um terminador passivo de linha, que consiste em um elemento RC (um resistor em série de 100 Ohm e um capacitor de 1 F). Tanto os couplers quanto os links podem possuir o terminador de barramento integrados. O número de estações que podem ser conectadas a um segmento é limitado a 32. Este número pode ser reduzido em função do tipo de classe de proteção a explosões.

Em redes intrinsecamente seguras, tanto a tensão máxima quanto a corrente máxima de alimentação são especificadas dentro de limites claramente definidos.

Observe que, mesmo nos casos em que a segurança intrínseca não é utilizada, a potência da fonte de alimentação é limitada.

Tipo	Área de Aplicação	Alimentação	Corrente Máxima	Potência Máxima	No. Típico de Estações
I	EEX ia/ib IIC	13,5 V	110 mA	1,8 W	8
II	EExib IIC	13,5 V	110 mA	1,8 W	8
III	Eexib IIB	13,5 V	250 mA	4,2 W	22
IV	Não intrinsecamente seguro	24,0 V	500 mA	12,0 W	32
Importante: Esta especificação é baseada em uma corrente de consumo de 10 mA por equipamento de campo Profibus-PA.					

Tabela 6- Alimentação padrão.

De modo geral, para determinar o comprimento máximo do barramento, calcula-se a corrente consumida pelos dispositivos de campo, seleciona-se uma unidade de alimentação, conforme a tabela 6, e determina-se o comprimento para o tipo de cabo selecionado conforme a tabela 7.

A corrente necessária é obtida da soma das correntes básicas dos dispositivos de campo do segmento selecionado, somada a uma reserva de corrente de 9 mA por segmento, destinado para a operação do FDE (corrente consumida pelo equipamento quando em falha). O FDE evita que dispositivos defeituosos bloqueiem o barramento permanentemente.

	Tipo I	**Tipo II**	**Tipo III**	**Tipo IV**	**Tipo IV**	**Tipo IV**

Tensão	V	13,5	13,5	13,5	24	24	24
Soma das correntes necessárias	mA	£110	£110	£250	£110	£250	£500
Comprimento da linha para 0.8 mm2	m	£900	£900	£400	£1900	£1300	£650
Comprimento da linha para 1.5 mm2	m	£1000	£1500	£500	£1900	£1900	£1900

Tabela 7 - Comprimentos de linha para IEC 61158-2.

A conexão em um barramento intrinsecamente seguro com equipamentos de campo alimentados pelo próprio barramento e equipamentos alimentados externamente é possível, desde que os dispositivos alimentados externamente estejam equipados com isolamento apropriado de acordo com EN 50020. Deve ser considerada, entretanto, no cálculo da corrente total, a corrente que o dispositivo com alimentação externa consome do barramento.

TIPOS DE CABO RECOMENDADOS PARA PROFIBUS-PA

A IEC 61158-2 determina que o meio físico do Profibus-PA deve ser um par de fios trançados. As propriedades de um barramento de campo são determinadas pelas condições elétricas do cabo utilizado. Embora a IEC 61158-2 não especifique tecnicamente o tipo do cabo, o cabo tipo A é altamente recomendado a fim de garantir as melhores condições de comunicação e distâncias envolvidas.

A Tabela 8 apresenta as especificações dos diversos cabos a 25 °C. A maioria dos fabricantes de cabos recomenda a temperatura de operação entre -40 °C e 60 °C. É necessário verificar os pontos críticos de temperatura por onde o cabeamento será passado e se o cabo escolhido é adequado para tal temperatura. A resistência do cabo tipo A de 22 /Km é válida a 25 °C. Por exemplo, a resistência do cabo tipo A a 50 °C é 24,58 /Km. Isso deve ser levado em conta em países quentes, como o Brasil.

	Tipo A	**Tipo B**	**Tipo C**	**Tipo D**
Descrição do Cabo	Par trançado com *Shield*	Um ou mais pares trançados total com *Shield*	Diversos pares trançados sem *Shield*	Diversos pares não-trançados, sem *Shield*
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)
MáximaResistência DC (*loop*)	44 /Km	112 /Km	264 /Km	40 /Km
ImpedânciaCaracterística a 31.25 kHz	100 ± 20%	100 ± 30%	**	**
MáximaAtenuação a 39 kHz	3 dB/Km	5 dB/Km	8 dB/Km	8 dB/Km
MáximaCapacitânciaDesbalanceada	2 nF/Km	2 nF/Km	**	**
Distorção de Atraso de Grupo (7.9 a 39 kHz)	1,7 µs/Km	**	**	**
SuperfícieCobertapelo Shield	90%	**	-	-
Recomendação para Extensão de Rede (incluindo *spurs*)	1900 m	1200 m	400 m	200 m

Tabela 8 – Características dos diversos cabos utilizados em Profibus-PA.

COMPRIMENTO TOTAL DO CABO, REGRAS DE DISTRIBUIÇÃO E INSTALAÇÃO

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. Vale lembrar que braços menores que 1 m não entram neste cálculo.

O comprimento total do cabeamento é a somatória do tamanho do trunk (barramento principal) e todos os spurs (derivações maiores que 1 m), sendo que, com cabo do tipo A, deve possuir no máximo 1900 m em áreas não-seguras. Em áreas seguras com cabo tipo A, pode chegar no máximo a 1000 m, considerando que os spurs não podem exceder 30 m.

Em termos de instalação e distribuição, é recomendado evitar splice, ou seja, qualquer parte da rede que tenha um meio condutor especificado e um comprimento descontínuo menor que 1 m, como por exemplo: remoção de blindagem, troca do diâmetro do fio e conexão a terminais nus. Em redes com comprimento total maior que 400 m, a somatória dos comprimentos de todos os splices não deve ultrapassar 2% do comprimento total. Em comprimentos menores que 400 m, não deve exceder 8 m.

O comprimento máximo de um segmento PA, quando se utiliza cabo de tipos diferentes, fica limitado de acordo com a seguinte fórmula:

$$\left(\frac{LA}{LA\,\max}\right)+\left(\frac{LB}{LB\,\max}\right)+\left(\frac{LC}{LC\,\max}\right)+\left(\frac{LD}{LD\,\max}\right)\langle=1$$

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* (1900 m);
- *LB max:* Comprimento máximo permitido com o cabo *B* (1200 m);
- *LC max:* Comprimento máximo permitido com o cabo *C* (400 m);
- *LD max:* Comprimento máximo permitido com o cabo *D* (200 m).

Com relação aos braços (spurs), é necessário estar atento aos comprimentos dos mesmos. A quantidade de equipamentos PA (devem ser considerados os repetidores, quando houver) deve estar de acordo com a Tabela 9. Em áreas classificadas o spur máximo deve ser de 30 m.

Total de equipamentos PA por segmento *coupler* **DP/PA**	**Comprimento do** *spur***(m) com 01 equipamento**	**Comprimento do** *spur* **(m) com 02 equipamentos**	**Comprimento do** *spur* **(m) com 03 equipamentos**	**Comprimento do** *spur* **(m) com 04 equipamentos**	**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

Tabela 9 - *Spur* x número de equipamentos PA.

Obs: O limite de capacitância do cabo deve ser considerado desde que o efeito no sinal de um spur seja menor que 300m e se assemelha a um capacitor. Na ausência de dados do fabricante do cabo, um valor de 0.15 nF/m pode ser utilizado para cabos Profibus.

$$Ct = (Ls * Cs) + Cd$$

Onde:

- *CT*: Capacitância total em nF;
- *Ls*: Comprimento do *spur* em m;
- *Cs*: Capacitância do fio por segmento em nF (padrão: 0,15);
- *Cd*: Capacitância do equipamento PA.

A atenuação associada a esta capacitância é 0,035 dB/nF. Sendo assim, a atenuação total vale:

$$A = Ct * Ls * 0.035\,dB/nF \langle 14\,dB$$

Sendo que 14 dB é o que permitirá o mínimo de sinal necessário para haver condições de detectá-lo com integridade.

Existem algumas regras que devem ser seguidas, em termos do cabeamento e da separação entre outros cabos, quer sejam de sinais ou de potência. Deve-se preferencialmente utilizar bandejas ou calhas metálicas, observando as distâncias conforme a tabela 10.

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. Além disso, o sinal Profibus deve ser isolado de fontes de ruídos, como cabos de força, motores e inversores de frequência.

Recomenda-se colocar o cabo Profibus em guias e calhas separadas. O ideal é utilizar canaletas de alumínio, onde se tem a blindagem eletromagnética externa e interna. As correntes de Foucault são praticamente imunes, devido à boa condutibilidade elétrica do alumínio. Convém lembrar que o cruzamento entre os cabos deve ser feito em ângulo de 90°.

	Cabo de comunicação Profibus-PA	**Cabos com e sem *shield*: 60Vdc ou 25Vac e < 400Vac**	**Cabos com e sem *shield*> 400Vac**	**Qualquer cabo sujeito à exposição de raios**
Cabo de comunicação Profibus-PA		10 cm	20 cm	50 cm
Cabos com e sem *shield*	10 cm		10 cm	50 cm
60 Vdc ou 25 Vac e < 400 Vac				

Cabos com e sem *shield*: > 400 Vac	20 cm	10 cm		50 cm
Qualquer cabo sujeito à exposição de raios	50 cm	50 cm	50 cm	

Tabela 10 – Distâncias mínimas de separação entre cabeamentos.

TERMINADORES DA REDE PROFIBUS-PA

Dois terminadores de barramento devem estar conectados na rede Profibus-PA, 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 houver uma caixa de junção no final do tronco principal com vários braços (spurs) na distribuição do cabeamento, o terminador de campo deverá ser colocado neste ponto, o que facilitará a manutenção no momento de remover equipamentos.

É preciso certificar-se da correta conexão do terminador, lembrando que a falta de terminadores proporcionam a intermitência da comunicação, uma vez que não há casamento de impedância, acarretando aumento da reflexão de sinal.

A falta de um terminador ou sua conexão em ponto incorreto também degrada o sinal, uma vez que parte do cabeamento funcionará como uma antena. Esta ausência pode aumentar em mais de 70% o sinal e um terminador a mais pode atenuar o sinal em até 30%. Atenuação e intermitência podem gerar falhas de comunicação.

O terminador da rede PA é composto de um resistor de 100 ± 2% e um capacitor de 1 F ± 20% em série.

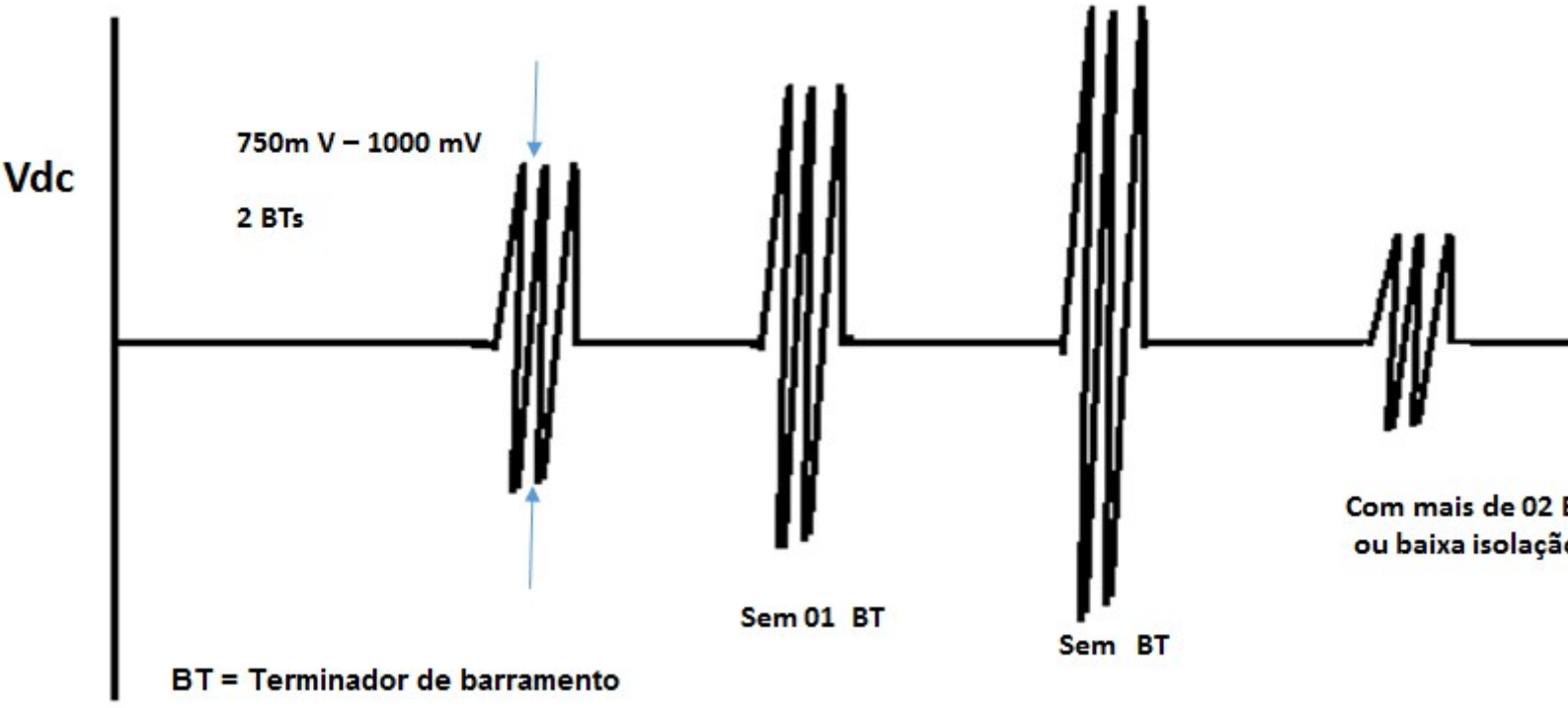


Figura 13 – Formas de onda típicas do Profibus-PA, de acordo com a terminação.

SUPRESSOR DE TRANSIENTES

Toda vez que houver uma distância efetiva maior que 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 da medição. Na prática, na horizontal, entre 50 e 100 m recomenda-se o seu uso. Esta regra também deve ser aplicada para o Profibus-DP.

É indicado instalar o protetor de transiente imediatamente após o coupler DP/PA, antes de cada equipamento e mesmo na caixa de junção. Em áreas classificadas, recomenda-se o uso de protetores certificados.

FONTE DE ALIMENTAÇÃO E SINAL DE COMUNICAÇÃO PROFIBUS-PA

O consumo de energia varia de um equipamento para outro, assim como de fabricante para fabricante. É importante que a resistência do cabeamento não seja muito alta, a fim de não gerar uma queda de tensão ao longo do cabeamento. Para manter a resistência baixa são necessárias boas conexões e junções.

Em termos de sinal de alimentação, consideram-se como valores aceitáveis:

12 a 32 Vdc na saída do coupler DP/PA (depende do fabricante do *coupler*)			
Ripple (r, mv)		**Sinal de comunicação (c, mVpp)**	
r < 25	excelente	750 < c < 1000	Excelente.
25 < r < 50	bom, ok	c > 1000	Muito alto, pode ser que tem um terminador a menos.
50 < r < 100	marginal	c > 1500	Sem terminação.
> 100	não aceitável	c < 250	Excesso de terminação ou baixa isolação.

Tabela 11 – Valores de *ripple* e amplitude do sinal de comunicação Profibus-PA.

Algumas barreiras e protetores de segmento (spur guard ou segment protector) possuem uma alta impedância em série e podem resultar em sinais até 2000 mV, ainda assim permitindouma operação adequada.

Alguns equipamentos têm polaridade, outros não, por isso é muito importante assegurar-se da correta conexão do barramento Profibus-PA aos equipamentos.

SHIELD E ATERRAMENTO

Ao considerar a questão de *shield* e aterramento em barramentos de campo, deve-se levar em consideração:

- Compatibilidade eletromagnética (EMC);
- Proteção contra explosão;
- Proteção de pessoas.

De acordo com a IEC61158-2, aterrar significa estar permanentemente conectado ao terra através de uma impedância suficientemente baixa e com capacidade de condução suficiente para prevenir qualquer tensão que possa resultar em danos de equipamentos ou pessoas.

Linhas de tensão com 0 Volt devem ser conectadas ao terra e galvanicamente isoladas do barramento Profibus. O propósito de se aterrar o *shield* é evitar ruídos de alta frequência.

Linhas de tensão com 0 Volt devem ser conectadas ao terra e galvanicamente isoladas do barramento Profibus. O propósito de se aterrar o shield é evitar ruídos de alta frequência.

Preferencialmente, o shield deve ser aterrado em dois pontos, no início e final de barramento, desde que não haja diferença de potencial entre estes pontos, permitindo a existência e caminhos a corrente de loop. Na prática, quando esta diferença existe, recomenda-se aterrar o shield somente em um ponto, ou seja, na fonte de alimentação ou na barreira de segurança intrínseca. Deve-se assegurar a continuidade da blindagem do cabo em mais do que 90% do comprimento total do cabo.

O shield deve cobrir completamente os circuitos elétricos através dos conectores, acopladores, splices, caixas de distribuição e junção. Nunca deve-se utilizar o shield como condutor de sinal. É preciso verificar a continuidade do shield até o último equipamento PA do segmento, analisando a conexão e acabamento.

Em áreas classificadas, quando uma equalização de potencial entre a área segura e área perigosa não for possível, o shield deverá ser conectado diretamente ao terra (equipotencial bonding system) somente no lado da área perigosa. Na área segura, o shielddeverá ser conectado através de um acoplamento capacitivo (capacitor preferencialmente cerâmico, com dielétrico sólido, C<= 10nF, tensão de isolação >= 1,5kV).

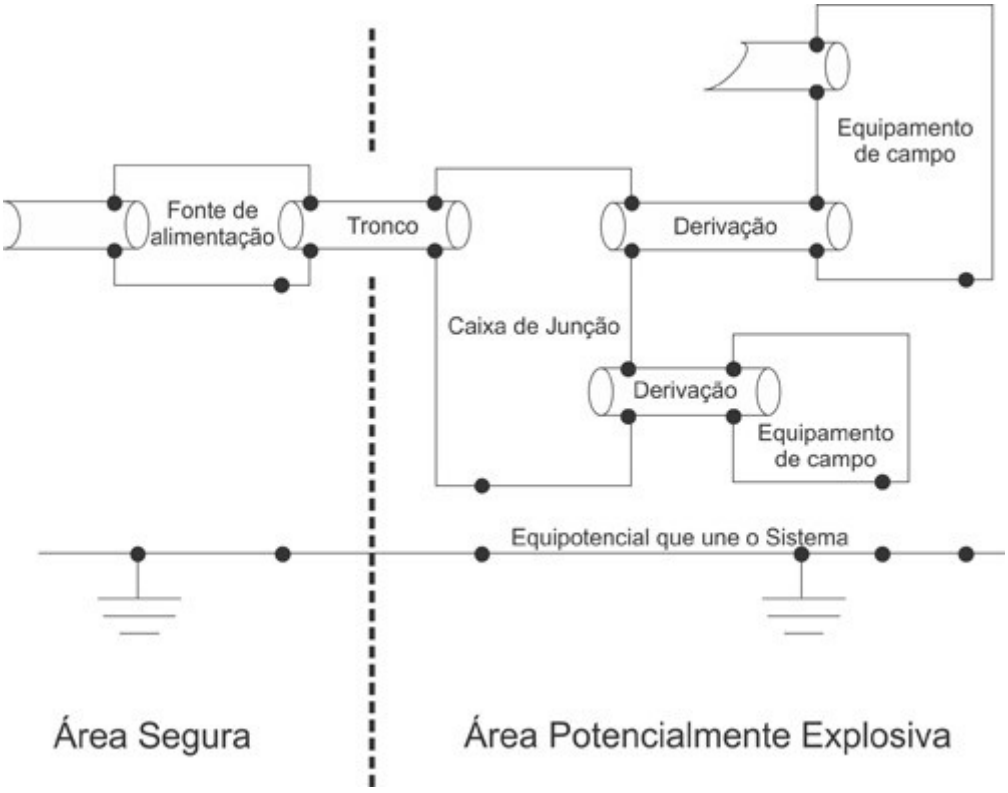


Figura 14 – Combinação ideal de shield e aterramento.

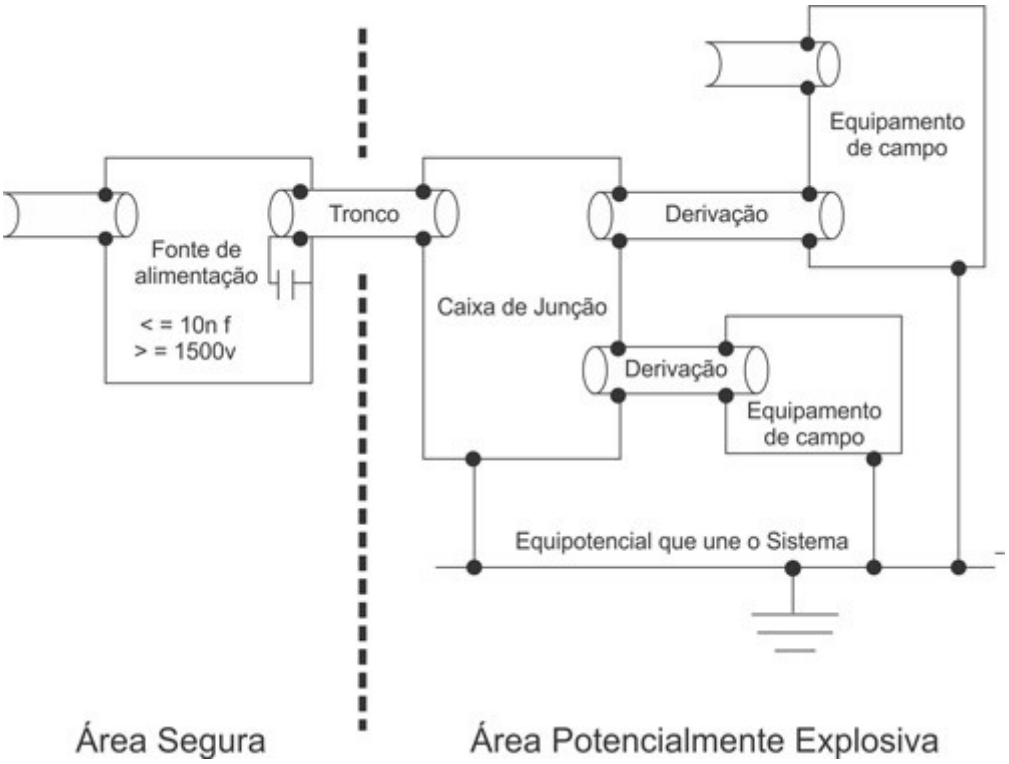


Figura 15 – Aterramento capacitivo.

A IEC 61158-2 recomenda que se tenha a isolação completa. Este método é utilizado principalmente nos Estados Unidos e na Inglaterra. Neste caso, o shield é isolado de todos os terras, a não ser o ponto de terra do negativo da fonte ou da barreira de segurança intrínseca do lado seguro. O shield tem continuidade desde a saída do coupler DP/PA, passando pelas caixas de junções e distribuições e chegando até os equipamentos.

As carcaças dos equipamentos são aterradas individualmente do lado não seguro. Este método tem a desvantagem de não proteger os sinais totalmente da alta frequência podendo gerar intermitência na comunicação, dependendo da topologia e comprimento dos cabos. Recomenda-se, nestes casos, o uso de canaletas metálicas.

Outra forma complementar à primeira, seria aterrar as caixas de junções e as carcaças dos equipamentos em uma linha de equipotencial de terra do lado não seguro. Os terras do lado não seguro com o lado seguro são separados.

A condição de aterramento múltiplo também é comum, onde se tem uma proteção mais efetiva às condições de alta frequência e ruídos eletromagnéticos. Este método é preferencialmente adotado na Alemanha e em alguns países da Europa. Nele, o shield é aterrado no ponto de terra do negativo da fonte ou da barreira de segurança intrínseca do lado seguro e, além disso, no terra das caixas de junções e nas carcaças dos equipamentos, sendo estas também aterradas pontualmente, no lado não seguro. Outra condição seria complementar a esta, porém os terras seriam aterrados em conjunto em uma linha equipotencial de terra, unindo o lado não seguro ao lado seguro.

Para mais detalhes, deve-se sempre consultar as normas de segurança local. Recomenda-se utilizar a IEC 60079-14 como referência em aplicações em áreas classificadas.

A FIBRA ÓTICA

Fibra ótica tem provocado uma revolução em algumas áreas, trazendo muitas vantagens em relação aos meios de transmissões convencionais. A fibra ótica é constituída de materiais dielétricos, composta de uma região central, denominada núcleo (por onde trafega a luz) e uma região periférica, denominada casca, que envolve completamente o núcleo.

O princípio de propagação no interior de uma fibra ótica é fundamentado na reflexão total da luz, quando um raio se propaga em um meio cujo índice de refração é n1 (núcleo) e atinge a superfície de outro meio com índice de refração n2 (casca). Sendo n1 > n2 e o ângulo de incidência maior ou igual ao ângulo crítico, ocorrerá a reflexão total da luz, resultando no retorno do raio de luz para o meio com índice de refração n1.

Existe uma grande variedade de fibras óticas, cada qual voltada a uma aplicação específica. Os tipos podem variar de acordo com os materiais, dimensões e os processos de fabricação. As fibras óticas estão subdivididas em dois tipos: monomodo (single mode-SM) e multimodo (multimode-MM).

A transmissão em fibra ótica é realizada pelo envio de um sinal de luz codificado dentro do domínio de frequência do infravermelho (1014 a 1015 Hz), por meio de cabo ótico, sendo assim superior em pelo menos 10.000 vezes aos sistemas cabeados tradicionais.

As principais vantagens da utilização da fibra ótica em comparação aos meios tradicionais são:

- Imunidade às interferências eletromagnéticas;
- Segurança na transmissão;
- Baixa atenuação;
- Maior capacidade de transmissão;
- Melhor qualidade de transmissão;
- Maior distância na transmissão;
- Aplicação em ambientes agressivos (fibras óticas são imunes a oxidação e corrosão);
- Aplicação em locais onde é necessário reduzir peso e tamanho dos cabos (as fibras óticas são extremamente leves e compactas).

Ao contrário dos outros meios de transmissão, a fibra ótica é totalmente imune a interferências eletromagnéticas, ruídos externos e interferência dos sinais de rádio.

Como a fibra é de material isolante, a indução de correntes por sinais elétricos não acontece. Desta forma, a transmissão é completamente imune às interferências eletromagnéticas externas. Isto permite sua instalação em ambientes ruidosos do ponto de vista eletromagnético, sem que este fato deteriore a qualidade de sua transmissão. A fibra ótica apresenta uma atenuação independente da frequência, permitindo uma velocidade de transmissão bastante alta, com integridade e qualidade dos sinais

GARANTINDO A INTEGRIDADE DE SINAIS NO PROFIBUS-PA

O Profibus-PA é a solução Profibus que atende os requisitos da automação de processos, onde se tem a conexão de sistemas de automação e sistemas de controle de processo com equipamentos de campo, tais como: transmissores de pressão, temperatura, conversores, posicionadores, dentre outros.

Assim como qualquer rede de campo, a rede Profibus-PA está sujeita ao ambiente industrial e todas as degradações de sinais proporcionadas pela interferência eletromagnética, como comentadas anteriormente. A transmissão por fibra ótica sobre condutores óticos (FOC ou Fiber-OpticCable) é apropriada nesses casos.

O repetidor ótico Profibus-PA VRP10-O da Vivace Process Instruments permite que interfaces elétricas Profibus-PA (H1, 31,25 kbits/s) sejam convertidas em interfaces óticas Profibus-PA e vice-versa. A comunicação é do tipo half-duplex em distâncias de até 4 km, com o grande benefício da imunidade a EMI, garantindo uma alta integridade dos sinais e disponibilidade de rede Profibus-PA.

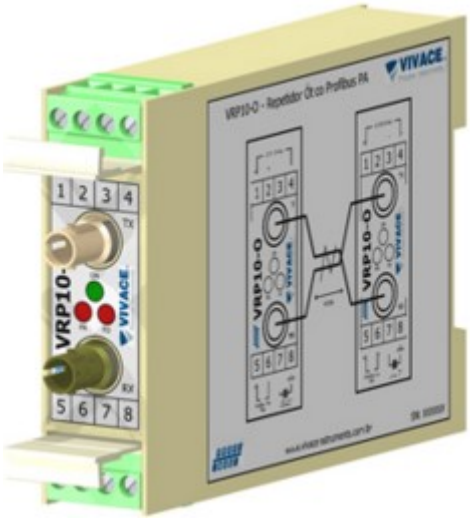


Figura 16 – VRP10-O Repetidor ótico Profibus-PA.

Principais benefícios:

- Alimentado externamente (24Vcc, corrente máxima de 200 mA);
- De acordo com a IEC61158-2;
- Sem necessidade de configuração;
- Sem necessidade de endereço;
- Ótima solução para aumentar distâncias de conexão, eliminar EMI e problemas de aterramento;
- Cabo de Fibra Ótica Multimodo dual ou simples, 62,5 ou 50/125 m com conectores ST;
- Tamanho máximo por segmento ótico de 4000 m;
- LEDs indicam a alimentação, comunicação ótica e comunicação Profibus-PA;
- Facilita a topologia da rede Profibus-PA;
- Isola áreas de diferentes terras, amentando a integridade de sinais;
- Simplifica as instalações, principalmente em áreas classificadas (Ex-d).

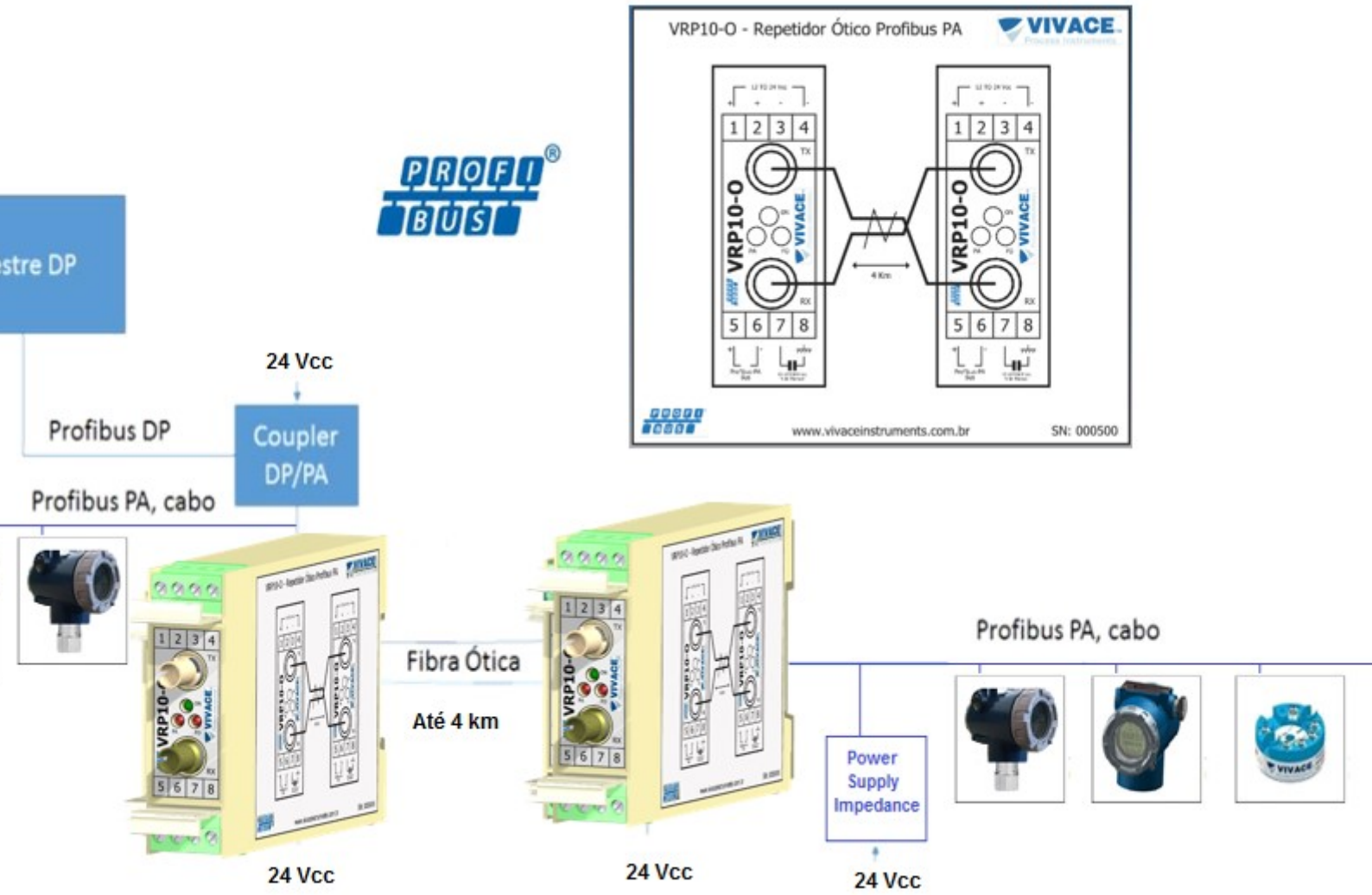


Figura 17 – Aplicação típica do VRP10-O, expandindo a rede Profibus-PA.

A figura 18 mostra o uso do VRP10-O, repetidor ótico Profibus-PA, isolando diferentes áreas, quando se tem terras que não estão potencialmente equalizados. Isto garante uma maior proteção aos níveis de sinais, aumentando a confiabilidade da rede.

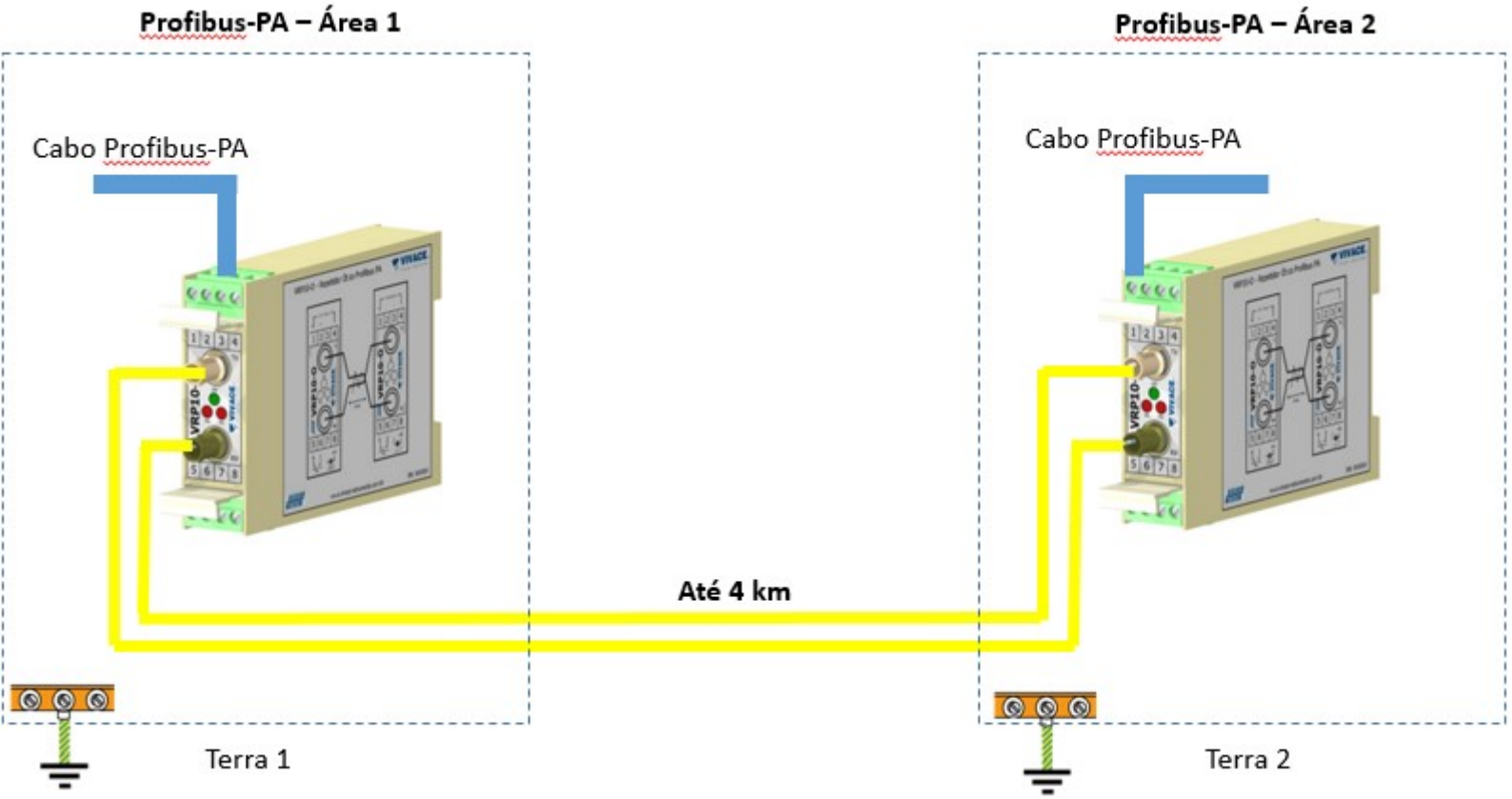


Figura 18 – Aplicação típica do VRP10-O, isolando áreas com diferentes terras.

A figura 19 mostra um sinal Profibus-PA degradado pela não equalização de terras em diferentes áreas. A figura 20 mostra um sinal Profibus-PA degradado pela não equalização de terras em diferentes áreas.

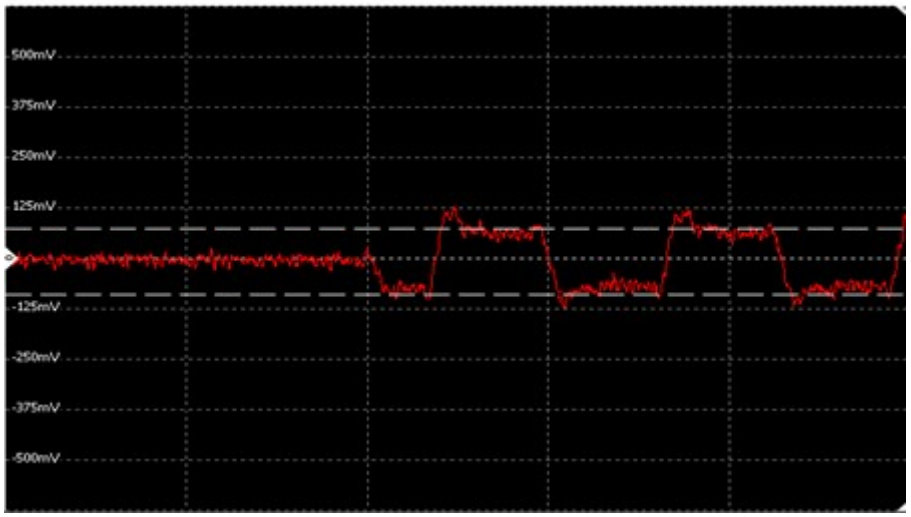


Figura 19 – Sinal Profibus-PA degradado por potencial de terra.

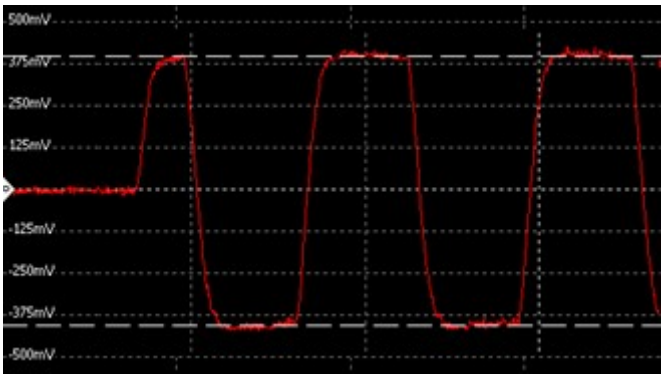


Figura 20– Sinal Profibus-PA adequado, isolado com o uso do VRP10-O.

PROCEDIMENTOS DE TRANSMISSÃO NO PROFIBUS

O Profibus-DP utiliza dois tipos de serviços de transmissão no envio de telegramas de mensagens que são definidos na camada 2 (a camada de enlace de dados) do modelo ISO / OSI e resumidas abaixo:

- **SRD (Send and Request Data with acknowledge)**

Com o SRD, os dados são enviados e recebidos em um ciclo de telegrama. Ou seja, o mestre envia dados de saída para o escravo e recebe dados de entrada do escravo em sua resposta (se aplicável) dentro de um período de tempo especificado. É importante lembrar neste serviço que um mestre pode enviar dados de saída para um escravo e requisitar dados do escravo, tudo em um único ciclo de telegrama. Este é o serviço de transmissão mais frequentemente usado em Profibus-DP e que faz com que a troca de dados seja muito eficiente para dispositivos de E / S mistas.

- **SDN (Send Data with No acknowledge)**

Este serviço é utilizado quando uma mensagem deve ser enviada simultaneamente a um grupo de escravos (multi-cast), ou a todos os escravos (broadcast). Os escravos não respondem ou reconhecem mensagens de difusão ou multi-cast.

- **SDA (Send Data with Acknowledge)**

Um terceiro tipo de serviço de transmissão utilizado em Profibus que é o SDA (Send Data with Acknowledge), com dados enviados para um mestre ou escravo e de reconhecimento breve enviado como resposta.

TROCA DE MENSAGENS NO PROFIBUS

A troca de mensagens no Profibus acontece em ciclos e cada pacote de dados é conhecido como mensagem ou frame.

Cada frame de requisição de dados ou de envio de dados a uma estação mestre Profibus está associado a um frame de confirmação ou resposta de uma estação mestre ou escrava.

Os dados podem ser transmitidos em frames de envio ou resposta, sendo que o frame de confirmação não contém dados, isto é, somente apresentará em seus campos códigos de reconhecimento do frame pela estação. Isto avisa a estação mestre que o escravo irá processar e responder ao mestre em breve.

O ciclo de mensagens é somente interrompido quando se tem a transmissão do frame de token (o token é

passado entre as estações mestres em uma ordem numérica ascendente de endereços por meio do frame de token e com isto o mestre que recebe o token, dominará a comunicação por um determinado tempo) e pela transmissão de dados sem confirmação, necessária para mensagens broadcast. Em ambos casos não há confirmação. Todas as estações, exceto a que detém o token, monitoram todas as requisições, e confirmam ou respondem somente quando são endereçadas e a confirmação ou resposta retornará em um tempo predefinido, o slot time (máximo tempo que o mestre irá esperar por uma resposta do slave), caso contrário, a requisição é repetida. A estação que não confirmar ou responder depois de um certo número de tentativas (retries) será listada como “não operacional” pela estação mestre.

Se um escravo detecta um erro de transmissão ao receber um pedido do mestre, ele simplesmente não responde e depois de esperar um slot time, o mestre enviará novamente o pedido (retry). Da mesma forma se o mestre detectar uma falha na resposta do escravo, também enviará novamente o pedido. O número de vezes que o mestre tentará sucesso na comunicação com o escravo dependerá da taxa de comunicação, sendo:

- 9.6kbits/s a 1.5Mbits/s – retry = 1
- 3.0 Mbits/s – retry = 2
- 6.0 Mbits/s – retry = 3
- 2.0 Mbits/s – retry = 4

Após esgotar todos os retries, o mestre marca o escravo, indicando um problema e faz o log out com dele. Nos ciclos subsequentes, se o mestre consegue sucesso, ele realiza a sequência do startup novamente (4 ciclos para trocar dados novamente).

CARACTER PROFIBUS-DP

Todos os caracteres Profibus são compostos de 11 bits (1 start bit + 8 bits de dados + 1 bit de paridade + 1 bit de Stop).

O Profibus-DP troca dados em codificação NRZ (Non Return to Zero). Isto é, a forma do sinal de "0" ou "1" não se altera durante a duração do bit. Se não há transmissão, a linha permanece em nível “1”, que é o estado de idle (inativo). Um start bit faz com que a linha vá para o estado lógico "0".

Profibus NRZ-Coded Character Frame (Even Parity)

Start	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Parity	Stop
“0”	*0*	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	**even**	**“1”**
←	*LSB*	←	←	←	←	←	←	*MSB*	←	←

Figura 21 – Caracter UART Profibus

Este frame de caracteres aplica-se a todos os bytes de dados / caracteres, incluindo os bytes de cabeçalho do telegrama (header).

Quando as mensagens são transmitidas, cada caracter ou dado é enviado na ordem do bit menos significante (LSB) para o bit mais significativo (MSB), como mostrado acima. Para a transferência de uma palavra (mais do que 1 byte), o byte MSB é transmitido em primeiro lugar, seguido pelo byte LSB (formato Big-Endian / Motorola).

O Profibus utiliza o método de paridade par para a verificação de erros de dados.

Quando uma mensagem é transmitida, o bit de paridade é calculado e aplicado a cada carácter transmitido.

ESTRUTURA DOS FRAMES PROFIBUS

Inicialmente veremos como é formado um caracter UART no Profibus.

Cada frame consiste de um número de caracteres, os chamados caracteres UART. O caracter UART (UC) é um caractere start-stop para transmissão assíncrona, consistindo de 11 bits: um start bit, que é sempre “0”, 8 bits de informação, que pode ser “0” o u “1”, um bit de paridade, que pode ser “0” ou “1” e u m stop bit, que é sempre “1”, conforme a Figura 2.

A especificação do Fieldbus Data Link Profibus apresenta 4 tipos diferentes de frames, onde:

- SD1, SD2, SD3 e SD4: bytes de início (Start Delimiter), podendo ter os valores: 10H, 68H, A2H e DCH. Veja os frames a seguir.
- DA: byte de endereço de destino (Destination Address)
- SA: byte de endereço fonte (Source Address)
- FC: byte de controle (Frame Control). O campo FC dos frames SD1, SD2, SD3, além de outras informações de controle, identifica a função do frame. De acordo com a configuração de seus bits, pode-se identificar o tipo de estação que enviou o frame, se o frame é de pedido, resposta ou confirmação e a natureza das informações que contém.
- FCS: byte de checagem (Frame Check Sequence)
- LE: byte de comprimento (Octet Length), podendo assumir valores entre 4 e 249
- LEr: byte de comprimento repetido
- DATA_UNIT (DU): campo de dados que pode ser fixo (8) ou variável, podendo variar de 1 a 246 bytes
- ED: byte finalizador (End Delimiter), sendo seu valor sempre 16H
- SC: frame de resposta curta (Short Acknowledgement), tendo como valor E5H.

Nos tipos de frames a seguir cada coluna representa 1 byte (“1 octet”), exceto o campo DATA_UNIT (DU) que é variável.

SD	1 byte	Start Delimiter (usado para diferenciar os formatos dos telegramas)
LE	1 byte	Net Data Length (DU) + DA + SA + FC + DSAP + SSAP.
LEr	1 byte	Byte de comprimento repetido
DA	1 byte	Destination Address– Para onde a mensagem vai.
SA	1 byte	Source Address – Origem da mensagem.
FC	1 byte	Function Code (FC=Tipo/Prioridade da mensagem): Usado para informações de controle, identifica a função do frame. FC=13: signals diagnostic data.
DSAP	1 byte	Destination Service Access Point (COM port do receiver). A estação de destino utilize este campo para determinar qual serviço a executar.
SSAP	1 byte	Source Service Access Point (COM port do sender).
DU	1 a 32 bytes (ou 1-244 bytes)	Data Units/ de 1 a 244 bytes.
FCS	1 byte	Byte de checagem (*Frame Check Sequence*)
ED	1 byte	End Delimiter (sempre 16H).

Tabela 12 – Significado dos campos de um frame Profibus

1) Frames de tamanho fixo sem campo de dados

Request Frame

SD1	DA	SA	FC	FCS	ED

Acknowledgement Frame

SD1	DA	SA	FC	FCS	ED

Short Acknowledgement Frame

SC

2) Frames de tamanho fixo com campo de dados

Send/Request Frame

SD3	DA	SA	FC	<DATA_UNIT (8)>	FCS	ED

Response Frame

SD3	DA	SA	FC	<DATA_UNIT (8)>	FCS	ED

3) Frames de tamanho do campo de dados variável

Send/Request Frame

SD2	LE	LEr	SD2	DA	SA	FC	<DATA_UNIT...>	FCS	ED

Response Frame

SD2	LE	LEr	SD2	DA	SA	FC	<DATA_UNIT...>	FCS	ED

4) Token Frame

Send/Request Frame

SD4	DA	SA

FRAMES PROFIBUS-DP

A figura 22 mostra um resumo dos frames Profibus-DP.

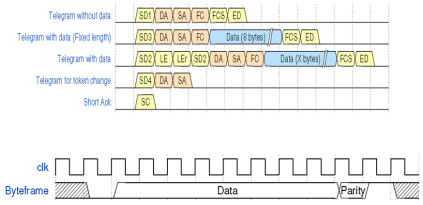


Figura 22 – Frames Profibus-DP

FRAMES PROFIBUS-PA

A figura 23 mostra um resumo dos frames Profibus-PA, onde vale a pena lembrar que o Profibus-PA é definido de acordo com a IEC61158-2 e onde se tem a codificação Manchester.

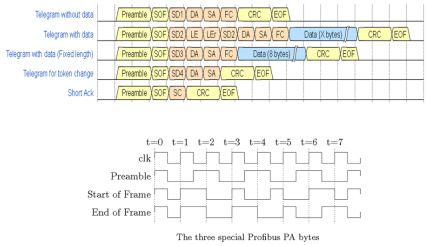


Figura 23 – Frames Profibus-PA

COMPARANDO OS FRAMES PROFIBUS-DP e PROFIBUS-PA

A figura 24 mostra uma breve comparação entre o frame Profibus-DP e Profibus-PA.

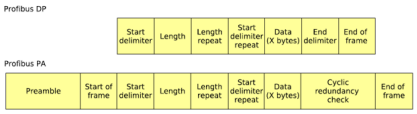


Figura 24 – Frames Profibus-DP x Profibus-PA

SAP – Service Access Point

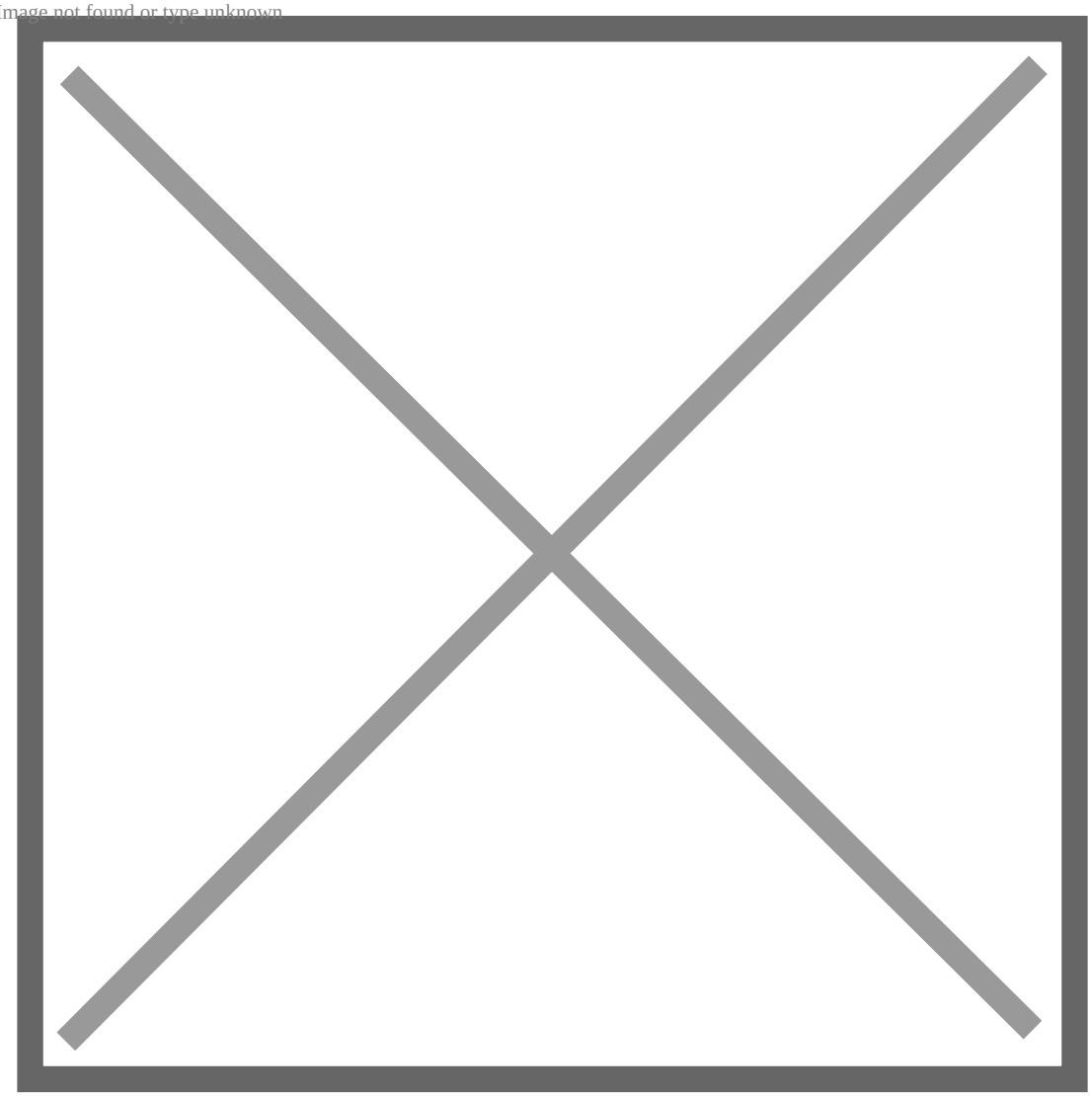
Toda troca de dados (data exchanges) entre mestre e escravo Profibus é feita utilizando as SAPs de 54 a 62, mais a SAP padrão (SAP = 0, Data Exchange).

A inclusão de um DSAP ou SSAP em um pedido ou resposta é feita setando o bit mais significativo no campo DA ou SA e com isto, nesta condição, somente os 7 bits menos significativos que conterão realmente o endereço (de 0x00 até 0x7F, onde 127 é reservado para broadcast e o endereço 126 é reservado para endereço default).

Para serviços acíclicos outras SAPs estão disponíveis de acordo com a figura 2, são conhecidos como

serviços estendidos.
Alguns tipos de SAPs:

Image not found or type unknown



SAP (Decimal)	SERVICE
Default 0	Cyclical Data Exchange (Write_Read_Data)
54	Master-to-Master SAP (M-M Communication)
55	Change Station Address (Set_Slave_Add)
56	Read Inputs (Rd_Inp)
57	Read Outputs (Rd_Outp)
58	Control Commands to a DP Slave (Global_Control)
59	Read Configuration Data (Get_Cfg)
60	Read Diagnostic Data (Slave_Diagnosis)
61	Send Parameterization Data (Set_Prm)
62	Check Configuration Data (Chk_Cfg)

Tabela 13 - Tipos de SAPs

CONFIABILIDADE DOS DADOS DA TRANSMISSÃO NO PROFIBUS

Para garantir a confiabilidade dos dados da transmissão, o Profibus dispõe de um mecanismo de segurança conhecido como distância Hamming 4 (Hd = 4, o que significa que até três bits errados simultaneamente podem ser detectados). A introdução de um bit de paridade nos caracteres UART incrementa em um bit a distância Hamming. Consegue-se Hd = 4 enviando um FCS com cada frame, assim como a inclusão de delimitadores de início e fim dos frames. O Profibus não utiliza a correção de erros: quando é detectado um

erro em um frame, descarta-se e repete-se a transmissão.

ELEMENTOS DA REDE PROFIBUS-PA

Basicamente, pode-se citar os seguintes elementos de uma rede Profibus:

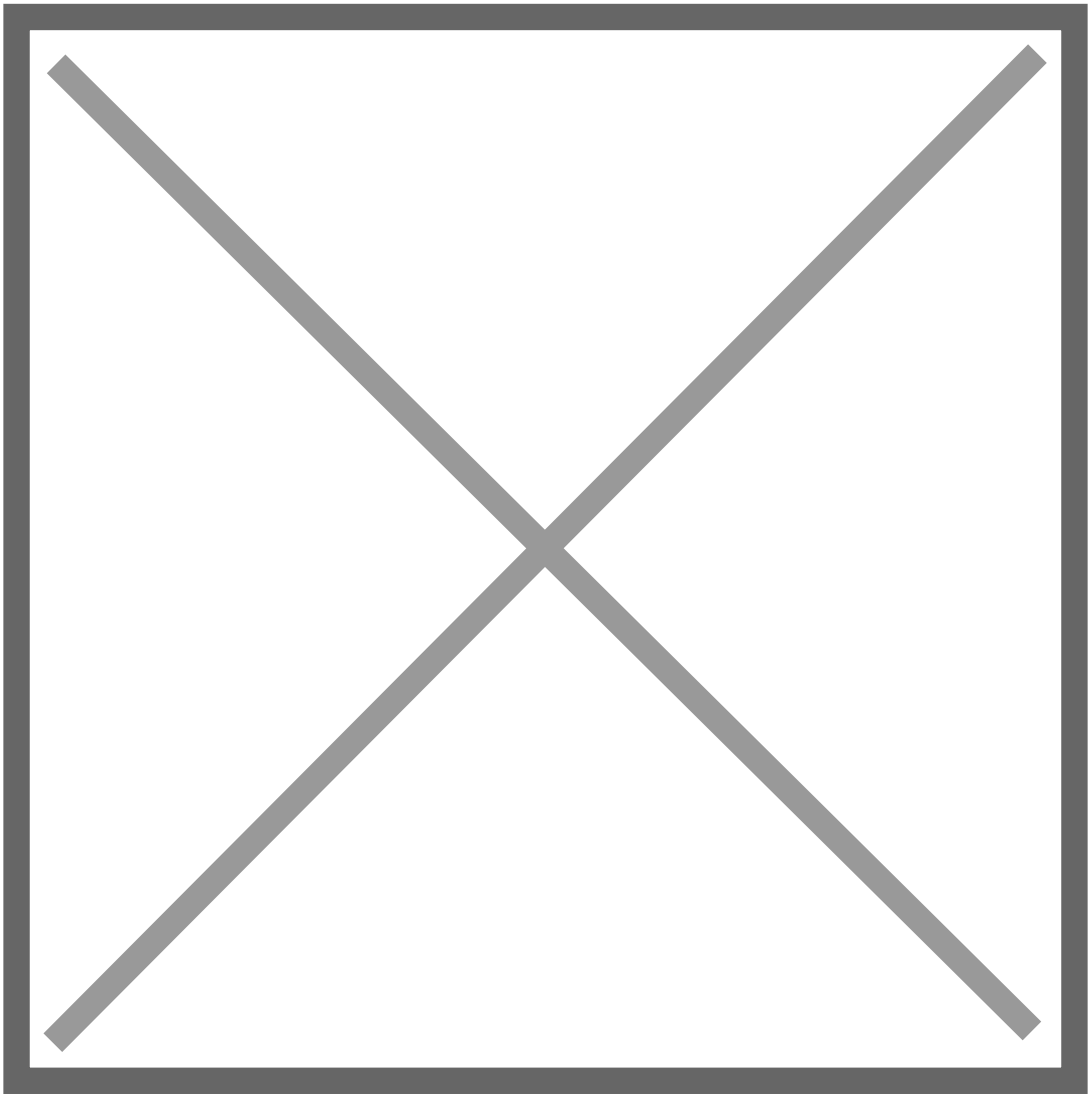
- **Mestres (Masters):** São elementos responsáveis pelo controle do barramento. Podem ser de duas classes:
  - Classe 1: responsável pelas operações cíclicas (leitura/escrita) e controle das malhas abertas e fechadas do sistema de controle/automação (CLP);
  - Classe 2: responsável pelos acessos acíclicos dos parâmetros e funções dos equipamentos PA (estação de engenharia ou estação de operação: Simatic PDM, Pactware, FieldCare etc.).

- **Acopladores (Couplers):** São dispositivos utilizados para traduzir as características físicas entre o Profibus-DP e o Profibus-PA (H1: 31,25 kbits/s). Além disso:
  - São transparentes para os mestres (não possuem endereço físico no barramento);
  - Atendem aplicações seguras (Ex) e não-seguras (Non-Ex), definindo e limitando o número máximo de equipamentos em cada segmento PA. O número máximo de equipamentos em um segmento depende, entre outros fatores, da somatória das correntes quiescentes, de falhas dos equipamentos (FDE) e distâncias envolvidas no cabeamento;
  - Podem ser alimentados com até 24 Vcc, dependendo do fabricante e da área de classificação;
  - Podem trabalhar com as seguintes taxas de comunicação, dependendo do fabricante: P+F (93,75 kbits/s e SK3: até 12 Mbits/s), Siemens (45,45 kbits/s).

- **Link devices:** São dispositivos utilizados como escravos da rede Profibus-DP e mestres da rede Profibus-PA (H1: 31,25 kbits/s). São utilizados para atingir altas velocidades (de até 12 Mbits/s) no barramento DP. Além disso:
  - Possuem endereço físico no barramento;
  - Permitem que sejam acoplados até 5 coupler se aumentam a capacidade de endereçamento da rede DP.

TOPOLOGIAS NO PROFIBUS-PA

Na figura 25, temos as topologias principais do Profibus-PA, embora na prática encontraremos um misto.



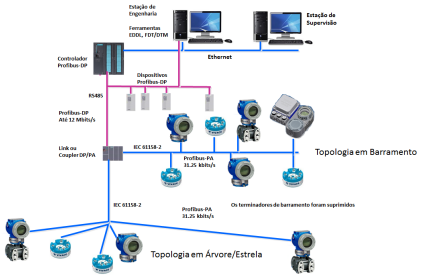


Figura 25 – Profibus-PA: IEC 61158-2 - Topologias em barramento e árvore/estrela.

TECNOLOGIA DE TRANSMISSÃO NO PROFIBUS-PA

A tecnologia de transmissão síncrona com codificação Manchester em 31,25 Kbits/s (modo voltagem) está definida segundo o IEC 61158-2 e foi pensada para satisfazer os requisitos das indústrias químicas e petroquímicas: segurança intrínseca e possibilidade de alimentar os equipamentos de campo pelo barramento.As opções e limites de trabalho em áreas potencialmente explosivas foram definidas segundo o modelo FISCO (Fieldbus Intrinsically Safe Concept).

A tabela 14 mostra algumas características do IEC 61158-2.

Características	Meio Físico de acordo com IEC61158-2, variante Profibus-PA
Taxa de comunicação	31,25 kbits/s
Cabo	Par trançado com blindagem
Topologia	Barramento, árvore/estrela, ponto a ponto.
Alimentação	Via barramento ou externa
Segurança Intrínseca	Possível
Número de equipamentos (considerando consumo quiescente de 10 mA)	Máximo:32 (*non-Ex*) Explosion Group IIC: 9 Explosion Group IIB: 23
Cabeamento Máximo	1900 m, expansível a 10Km com 4 repetidores
Máximo comprimento de *spur*	120m/*spur*
Sinal de comunicação	Codificação Manchester, com modulação de corrente.

Tabela 14 - Características da tecnologia de transmissão IEC 61158-2.

ENDEREÇAMENTO NA REDE PROFIBUS

Quanto ao endereçamento, podemos ter duas arquiteturas a analisar, onde fundamentalmente temos a transparência dos couplers e a atribuição de endereços aos links devices, conforme podemos ver nas figuras a seguir.

Note que a capacidade de endereçamento é significantemente aumentada com a presença dos links, uma vez que estes são escravos para o Profibus-DP e mestres para o Profibus-PA.

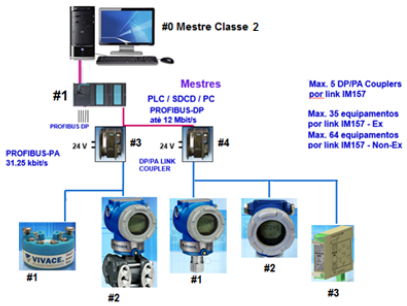


Figura 26- Endereçamento com couplers.



Figura 27 – Endereçamento com links.

REGRAS BÁSICAS DE PROJETO

PROFIBUS-DP

O Profibus-DP é o backbone de uma rede Profibus, onde se tem link devices, starter motors, digital I/O e segmentos Profibus-PA. Esta característica de uma rede híbrida envolvendo variáveis analógicas e digitais é algo muito forte no Profibus. Vejamos agora, algumas regras básicas envolvendo o RS485:

1 - Não exceda 32 nós por segmento;
2 - Não use derivações se a taxa de comunicação for maior do que 1,5 Mbits/s (nota 1);
3 - Atente-se aos requisitos para taxa de comunicação maior do que 1,5 Mbits/s;
4 - Cada final de segmento deve possuir um terminador ativo;
5 - Não exceda 125 endereços por cartão Profibus;
6 - Não use mais do que 9 repetidores entre mestres e escravos Profibus (nota 2);
7 - Respeite as regras entre taxa de comunicação e comprimentos de tronco e spurs;
8 - Use as boas práticas de aterramento e shielding;
9 - Use as boas práticas no roteamento de cabos, inversores de frequência e layout de painéis, evitando interferência eletromagnética;
10 - Calcule o projeto para a mais alta taxa de comunicação, mas use, sempre que possível, taxas menores, pois são menos suscetíveis a ruídos e interferências.

PROFIBUS-PA

O Profibus-PA tem mais flexibilidade em termos de layout,quando comparado ao Profibus-DP. Vejamos agora, algumas regras básicas envolvendo o Profibus-PA:

1 - Esteja atento à topologia (nota 1);
2 - Esteja atento ao máximo número de spurs e equipamentos por spur (nota 1);
3 - Use preferencialmente cabo tipo A e evite splices (mudança de impedância);
4 - Esteja atento ao comprimento total por segmento e use repetidores;
5 - Garanta mais de 10 Vcc de alimentação em cada equipamento;
6 - Verifique o número total de equipamentos e a corrente total por segmento (nota 1);
7 - Cada final de segmento deve possuir um terminador;
8 - Proteja os spurs PA com protetores de transiente e use protetores de curto;
9 - Use as boas práticas de aterramento e shielding;
10 - A segurança intrínseca afeta o número máximo de spurs e o comprimento total.

Notas:
1 - O efeito capacitivo dos spurs em altas taxas de comunicação pode afetar o sinal de comunicação.
2 - Alguns modelos de repetidores limitam-se a um máximo de 4 unidades para não estender os atrasos de comunicação.

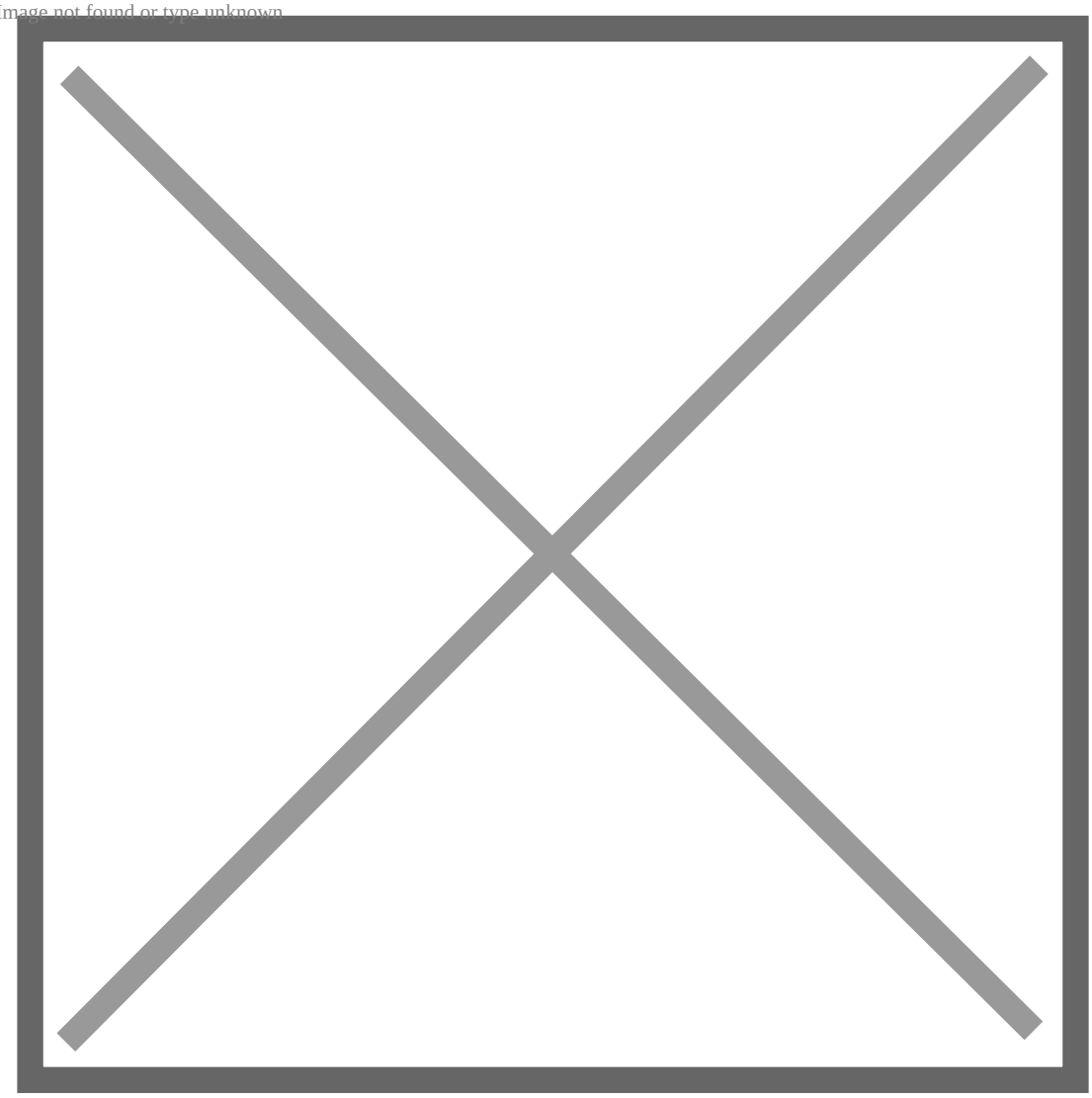
CUIDADOS E RECOMENDAÇÕES COM ATERRAMENTO E SHIELD

REDE PROFIBUS-DP

Em campo é muito comum encontrar problemas devido a EMC (Emissão Eletromagnética). Aliados à diferença de potencial de terra, geram inconvenientes perturbações de forma intermitente na comunicação e, normalmente, não são fáceis de serem detectados.

Quando se tem o sinal de comunicação Profibus-DP e o cabeamento distribuído entre as diversas áreas, o recomendado é equalizar o terra conforme a figura 28. Com isso, elimina-se a possível diferença de potencial entre o aterramento da área 01 e o sinal DP, assim como a diferença de potencial entre o aterramento da área 02.

Image not found or type unknown



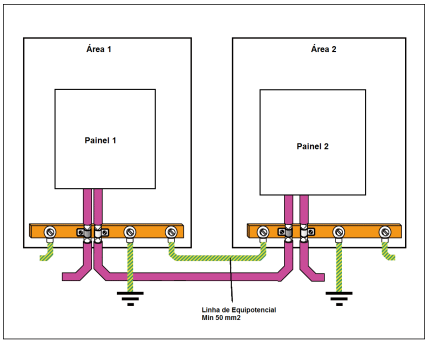


Figura 28 – Sistema de aterramento com diferentes áreas em Profibus-DP.

TERRA EQUIPOTENCIAL

A condição ideal de aterramento para uma planta e suas instalações é obtida quando o mesmo potencial é medido em qualquer ponto. Isso pode ser conseguido com o interligamento de todos os sistemas de aterramento da planta através de um condutor de equalização de potencial. Essa condição é chamada na literatura técnica de terra equipotencial.

Assim, mesmo que houver um aumento das tensões presentes, não haverá o risco de choque elétrico para qualquer pessoa na planta, uma vez que todos os elementos estarão com o mesmo potencial de terra.

Na prática existem outras maneiras de tratar o assunto shielding e aterramento, já que existe muita controvérsia. Por exemplo, o aterramento do shield pode ser feito em cada estação através do conector 9-

pinos sub D, onde a carcaça do conector faz contato com o shield neste ponto e ao conectar-se na estação é aterrado. Este caso, porém, deve ser analisado pontualmente, verificando a graduação de potencial dos terras a fim de equalizar estes pontos, se necessário.

O sistema de linha equipotencial é usado para nivelar o potencial de terra em diferentes locais da planta de forma que nenhuma corrente circule sobre a blindagem do cabo. Algumas boas práticas para este procedimento:

- Use cabos de cobre ou fitas de aterramento galvanizadas para a linha equipotencial no sistema e entre componentes do sistema;
- Conecte a linha equipotencial ao terminal de aterramento ou à barra com uma área de superfície ampla;
- Conecte todas as ligações de terra e de blindagem (se existirem) do instrumento ao sistema de linha equipotencial;
- Conecte a superfície de montagem (por exemplo, o painel do gabinete ou trilhos de montagem) ao sistema de linha equipotencial;
- Sempre que possível, conecte o sistema de linha equipotencial das redes ao sistema de linha equipotencial do prédio;
- Se as partes forem pintadas, remova a tinta do ponto de conexão antes de conectá-lo;
- Proteja o ponto de conexão contra corrosão depois da montagem (por exemplo, com tinta de zinco ou verniz);
- Proteja a linha equipotencial contra corrosão (uma opção é pintar os pontos de contato);
- Use parafuso de segurança ou conexões de terminal para todas as conexões de terra e superfície, além de arruelas de pressão para evitar que as conexões fiquem frouxas por causa de vibração ou movimento;
- Use terminais nos cabos flexíveis da linha equipotencial (as extremidades do cabo não devem nunca ser estanhadas);
- Faça o roteamento da linha equipotencial o mais perto possível do cabo;
- Conecte as partes individuais de bandejas de cabos metálicas umas às outras. Use anéis de acoplamento (bonding links) especiais ou jumpers específicos (certifique-se que os anéis de acoplamento são feitos do mesmo material que as bandejas de cabos. Os fabricantes das bandejas de cabos podem fornecer os anéis de acoplamento apropriados);
- Sempre que possível, conecte as bandejas de cabos feitas de metal ao sistema de linha equipotencial;
- Use anéis de acoplamento flexíveis (flexible bonding links) para expansão das juntas (estes anéis de acoplamento são fornecidos pelos fabricantes de cabos);
- Para conexões entre prédios diferentes ou entre partes de prédios, a rota da linha equipotencial deve ser traçada paralela ao cabo, mantendo as seguintes seções transversais mínimas, de acordo com a IEC 60364-5-54:

– Cobre: 6 mm²
– Alumínio: 16 mm²
– Aço: 50 mm²

Em áreas perigosas deve-se sempre fazer o uso das recomendações dos órgãos certificadores e das técnicas de instalação exigidas pela classificação das áreas. Um sistema intrinsecamente seguro deve possui componentes que devem ser aterrados e outros que não. O aterramento tem a função de evitar o aparecimento de tensões consideradas inseguras na área classificada.

Na área classificada evita-se o aterramento de componentes intrinsecamente seguros, a menos que o mesmo seja necessário para fins funcionais, quando se emprega a isolação galvânica. A normalização estabelece uma isolação mínima de 500 Vca. A resistência entre o terminal de aterramento e o terra do sistema deve ser inferior a 1 . Para mais detalhes, consulte a ABNT NBR IEC 60079-14, que regulamenta projetos, seleção e montagem de instalações elétricas em atmosferas potencialmente explosivas.

Quanto ao aterramento, recomenda-se agrupar circuitos e equipamentos com características semelhantes de ruído em distribuição em série e unir estes pontos em uma referência paralela, além de aterrar as calhas e bandejamentos.

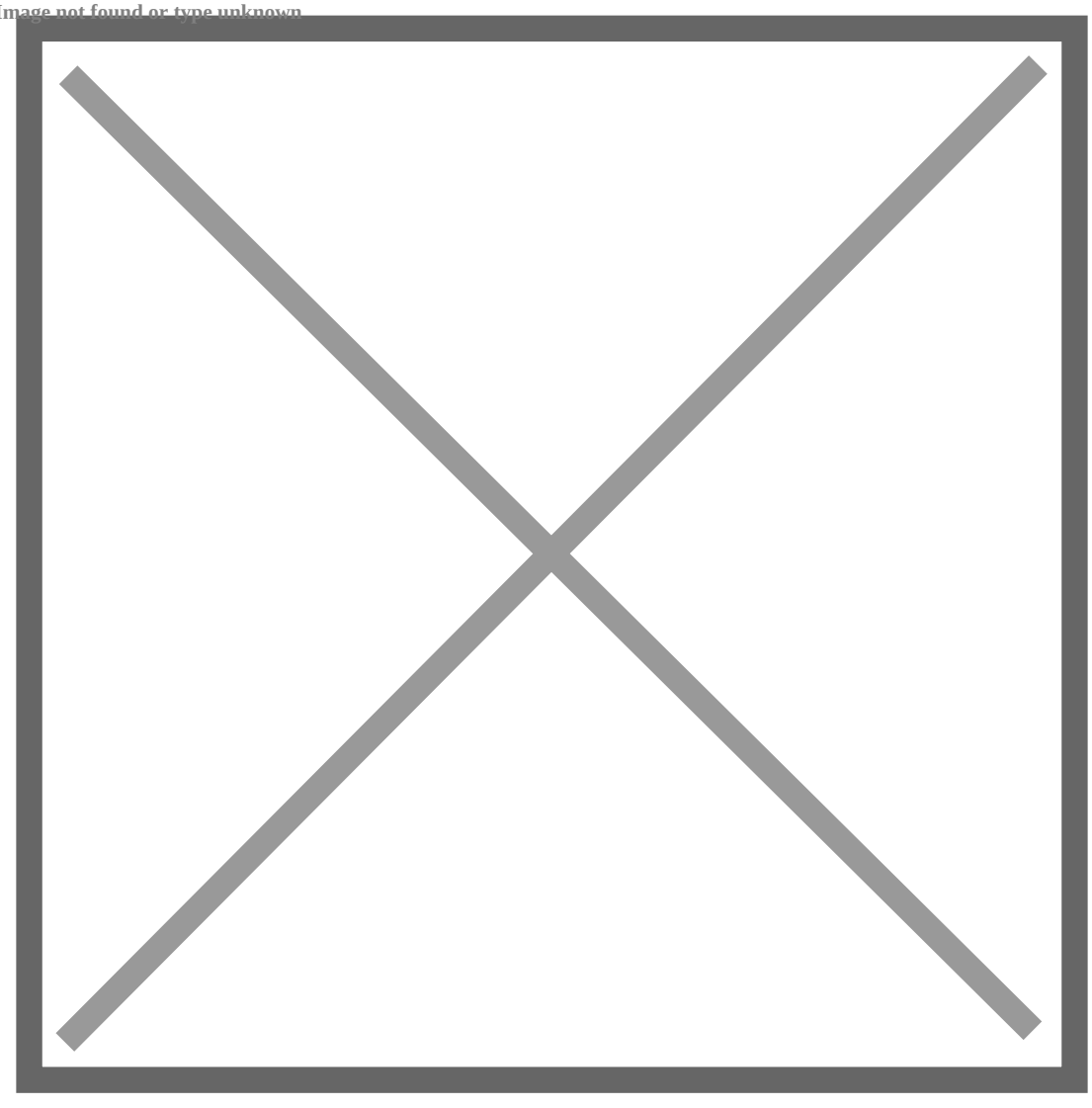
Um erro comum é o uso de terra de proteção como terra de sinal. Vale lembrar que este terra é muito ruidoso e pode apresentar alta impedância. É interessante o uso de malhas de aterramento, pois apresentam baixa impedância. Condutores comuns com altas freqüências apresentam a desvantagem de terem alta impedância. Os loops de correntes devem ser evitados. O sistema de aterramento deve ser visto como um circuito que favorece o fluxo de corrente sob a menor impedância possível. O terra recomendado deve possuir um valor inferior a 10 .

O shield (a malha, assim como a lâmina de alumínio) deve ser conectado ao terra funcional do sistema via conector Profibus-DP, a fim de proporcionar uma ampla área de conexão com a superfície condutiva aterrada. Na passagem do cabo, deve-se verificar com cuidado que o acabamento do shield esteja bem feito e não dando contato com outros pontos, a não ser os pontos de terra. A máxima proteção se dá com os pontos aterrados, onde proporciona-se um caminho de baixa impedância aos sinais de alta frequência.

Em casos onde existe um diferencial de tensão entre os pontos de aterramento (por exemplo, áreas distintas em prédios separados), recomenda-se passar uma linha de equalização de potencial junto ao cabeamento (a própria calha metálica pode ser usada ou, por exemplo, um cabo AWG 10-12). Desta forma a proteção se torna mais efetiva para uma ampla faixa de frequência.

A Figura 16 apresenta detalhes de cabeamento, shield e aterramento em áreas distintas.

Image not found or type unknown



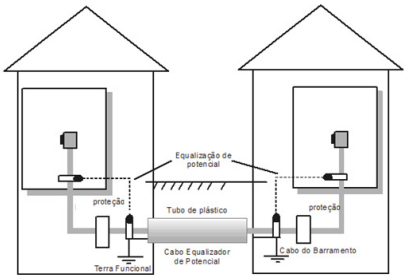


Figura 29 - Detalhe de cabeamento em áreas distintas com potenciais de terras equalizados.

REDE PROFIBUS-PA

Recomenda-se verificar a ABNT NBR IEC 60079-14 para aterramento e ligação com sistema equipotencial de sistemas intrinsecamente seguros.

Um circuito intrinsecamente seguro deve estar flutuando ou estar ligado ao sistema equipotencial associado com a área classificada em somente um ponto.

O nível de isolação requerido (exceto em um ponto) deve ser projetado para suportar 500 V no ensaio de isolação de acordo com 6.4.12 da IEC 60079-11.

Quando este requisito não for atendido, o circuito deverá ser considerado aterrado naquele ponto. Mais de uma conexão ao terra é permitida no circuito, desde que o circuito seja dividido em sub-circuitos galvanicamente isolados, cada qual aterrado somente em um ponto.

Blindagens devem ser conectadas à terra ou à estrutura de acordo com a ABNT NBR IEC 60079-14.

Sempre que possível, conecte as bandejas de cabos ao sistema de linha equipotencial.

As malhas (shield) devem ser aterradas em um único ponto no condutor de equalização de potencial. Se houver necessidade, por razões funcionais, de outros pontos de aterramento, são permitidos por meio de pequenos capacitores, tipo cerâmico, inferiores a 1 nF e para 1500 V, desde que a somatória das capacitâncias não ultrapasse 10 nF.

Nunca instale um dispositivo que tenha sido instalado anteriormente sem uma barreira intrinsecamente segura em um sistema intrinsecamente seguro, pois o diodo zener de proteção pode estar queimado, não atuando seguramente em áreas intrinsecamente segura.

Em síntese, pode-se adotar, as seguintes formas de aterramento do shield:

- Aterramento somente em uma extremidade: do lado do coupler(no negativo da fonte que alimenta o coupler, e que é aterrado no painel).
- Aterramento capacitivo de um lado do shield: do lado do coupler(no negativo da fonte que alimenta o coupler, e que é aterrado no painel) e no lado da conexão do shield ao terra.Capacitor cerâmico, < 10 nF, isolação > 1500V.
- Aterramento do shield nas duas extremidades: somente nos casos onde a diferença em tensão, entre ambos os extremos for no máximo 1 V (rms) para que os efeitos dos loops de terra sejam minimizados.

Quando se tem os aterramentos em dois pontos, a resistência do aterramento deve ser a mais baixa possível em ambos os extremos para minimizar os loops de terra, principalmente em baixas frequências.

Em frequências de níveis CC até 1 MHz, a blindagem do cabo pode ser aterrada em uma única extremidade e oferecer uma boa resposta quanto aos efeitos da interferência eletromagnética. Em frequências mais altas,

recomenda-se aterrar a blindagem do cabo em ambas as extremidades. Nesses casos, é muito importante que as diferenças de potencial de terra em ambos os pontos de conexão ao aterramento sejam as mínimas possíveis.

A diferença em tensão, entre ambos os extremos deve ser, no máximo 1 V (rms) para que os efeitos dos loops de terra sejam minimizados. É também importante considerar que em altas frequências existe a capacitância parasita de acoplamento que tende a completar o loop quando a blindagem está aterrada em um único extremo do cabo.

Deve-se sempre consultar o padrão IEC 61158 e os perfis e guias técnicos do Profibus. Em caso de discrepância ou dúvida, o padrão IEC 61158, perfis, guias técnicos e manuais de fabricantes prevalecem em suas últimas versões.

INTEGRAÇÃO EM SISTEMAS PROFIBUS

Um sistema Profibus pode ser operado e monitorado independentemente de equipamentos e fabricantes se todas as funcionalidades e parametrizações, bem como as formas de acesso a estas informações, forem padrões. Estes padrões são determinados pelos profiles (perfis) do Profibus.

Os profiles especificam como os fabricantes devem implementar os objetos de comunicação, variáveis e parâmetros, segundo a classe de funcionamentos dos equipamentos. E ainda existe a classificação dos próprios parâmetros:

- Valores dinâmicos de processo: dizem respeito às variáveis de processo, cuja informação é descrita nos arquivos GSD (Generic Station Description), que serão lidas ciclicamente pelos mestres Classe 1 e também aciclicamente pelos mestres Classe 2.
- Mestre Classe 1: responsável pelas operações cíclicas (leituras/escritas) e controle das malhas abertas e fechadas do sistema.
- Mestre Classe 2: responsável pelos acessos acíclicos dos parâmetros e funções dos equipamentos PA (estações de engenharia, por exemplo ferramentas FDT/DTM (Pactware, Fieldcare) ou Siemens Simatic PDM).

Além do arquivo GSD, é comum se fornecer os arquivos de Descrição dos Dispositivos (DDs), onde se tem detalhado os parâmetros, menus e métodos que permitirão a configuração cíclica do equipamento de campo. Esses arquivos seguem o padrão EDDL definido pelo PROFIBUS Internacional. Existe ainda o padrão FDT e DTM para configuração, monitoração e calibração.

Atualmente, o Profibus-PA está definido segundo o PROFILE 3, onde se tem informações para vários tipos de equipamentos, como transmissores e posicionadores de válvulas.

Estes equipamentos são implementados segundo o modelo de blocos funcionais (Function Blocks), onde um agrupamento de parâmetros garante acesso uniforme e sistemático das informações.

Vários blocos e funções são necessários, dependendo do modo e fase de operação. Basicamente, tem-se os seguintes blocos:

- Blocos Funcionais de Entradas e Saídas Analógicas: estes blocos descrevem funcionalidades durante a operação, tais como, trocas de dados cíclicos de entrada/saída, condições de alarmes e limites;
- Bloco Físico (Physical Block): traz informações de identificação do equipamento, assim como pertinentes ao hardware e ao software;

- Blocos Transdutores (Transducer Blocks): fazem o acondicionamento de informações dos sensores que serão utilizadas pelos blocos funcionais, assim como informações para disparo de atuações em elementos finais de controle, como por exemplo em um posicionador de válvulas. Normalmente um equipamento de entrada (um transmissor de pressão, por exemplo) possui um bloco transdutor (TRD) que está amarrado via canal a um bloco de entrada analógica (AI), enquanto um equipamento de saída (um posicionador de válvulas, por exemplo) possui um bloco de saída analógica (AO) que recebe um valor de setpoint e o disponibiliza via canal a um bloco transdutor (TRD) que acionará o elemento final.

Existem alguns equipamentos que possuem vários blocos AIs e AOs. São chamados de equipamentos multicanais e possibilitam vários blocos TRDs associados ao hardware.

O Profibus-PA ainda diferencia os profiles em classes:

- Equipamento Classe A: inclui informações somente dos blocos físico e de funções. Nesse tipo de classe, o equipamento está limitado ao básico necessário para operação: variável do processo (valor e status), unidade e tag.
- Equipamento Classe B: possui funções estendidas de informações dos blocos físico, transdutor e de funções.

Uma característica poderosa suportada pelo PROFILE 3 é a definição de cada equipamento segundo os arquivos GSD. Estes arquivos garantem que qualquer sistema Profibus possa integrar o equipamento, independentemente de suas características. Com isto cada fabricante pode desenvolver suas particularidades em formas de blocos funcionais que vão além do que está definido no profile.

Isto agrega valor aos equipamentos e torna possível a competição de desenvolvimento e oferta de características adicionais nos equipamentos pelos fabricantes, sendo que as particularidades específicas de cada equipamento podem ser acessadas via conceitos padrões de interfaces, baseado em EDDL (Linguagem Eletrônica Descritiva de Equipamentos) ou FDT (Ferramenta de Equipamento de Campo).

Através destas interfaces, o usuário ganha versatilidade e flexibilidade de configuração, parametrização, calibração e principalmente mecanismos de download e upload durante a fase de planejamento/comissionamento dos projetos.

Em geral o Profibus melhora a eficiência e reduz os custos durante o ciclo de vida de uma planta.

Podemos citar como benefícios:

- Projetos mais simples, em tempos mais curtos;
- Instalações otimizadas;
- Comissionamentos mais rápidos;
- Alta exatidão;
- Maior confiabilidade;
- Fácil expansão;
- Gerenciamento de ativos.

MODELO DE BLOCOS FUNCIONAIS

Em engenharia de processo é comum utilizar blocos funcionais para descrever as características e funções de um ponto de medida ou ponto de manipulação num certo ponto de controle ou para representar uma

aplicação de automação através da combinação destes tipos de blocos.

A especificação de dispositivos Profibus-PA utiliza este modelo de blocos de função para representar sequências funcionais, como mostrado na Figura 29.

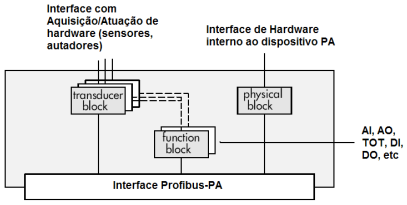


Figura 29 - Modelo de blocos funcionais em um dispositivo Profibus-PA.

Os seguintes três tipos de blocos são utilizados:

- Bloco Físico (Physical Block – PB)
  - O bloco físico contém os dados característicos de um dispositivo, como o modelo do dispositivo, fabricante, versão, número de série etc. Há somente um bloco físico em cada dispositivo.
- Bloco Transdutor (Transducer Block – TB)
  - O bloco transdutor contém todos os dados requeridos para processar um sinal não condicionado, obtido de um sensor, para passar ao bloco de função. Se este processamento não for necessário, o bloco transdutor pode ser omitido.

Dispositivos multifuncionais com dois ou mais sensores têm o correspondente número de blocos transdutores.

- Bloco de Função (Function Block – FB)
  - O bloco de função contém todos os dados para processamento final do valor medido antes da transmissão para o sistema de controle ou, por outro lado, para processamento de uma etapa antes do cenário do processo.

Os seguintes blocos de funções estão disponíveis:

- Bloco de Entrada Analógica (Analog Input Block – AI)
  - O bloco de entrada analógica fornece o valor medido do sensor e bloco transdutor para o sistema de controle.
- Bloco de Saída Analógica (Analog Output Block – AO)
  - O bloco de saída analógica fornece ao dispositivo o valor especificado pelo sistema de controle.
- Bloco de Totalização (Totalizer Block – TOT)
  - O bloco de totalização fornece ao dispositivo o valor totalizado especificado pelo sistema de controle.
- Bloco de Entrada Digital (Digital Input Block – DI)
  - O bloco de entrada digital fornece ao sistema de controle um valor digital do dispositivo.
- Bloco de Saída Digital (Digital Output Block – DO)
  - O bloco de saída digital fornece ao dispositivo um valor especificado pelo sistema de controle.

Os blocos são implementados pelos fabricantes como soluções de software nos dispositivos de campo e, levando como o conjunto, representam a funcionalidade do dispositivo. Como regra, vários blocos podem trabalhar em conjunto em uma aplicação. Veja a Figura 30.

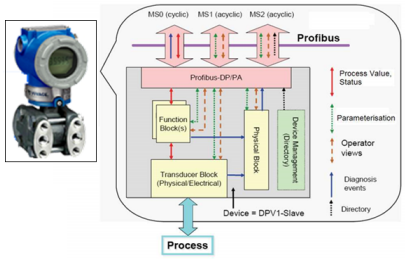
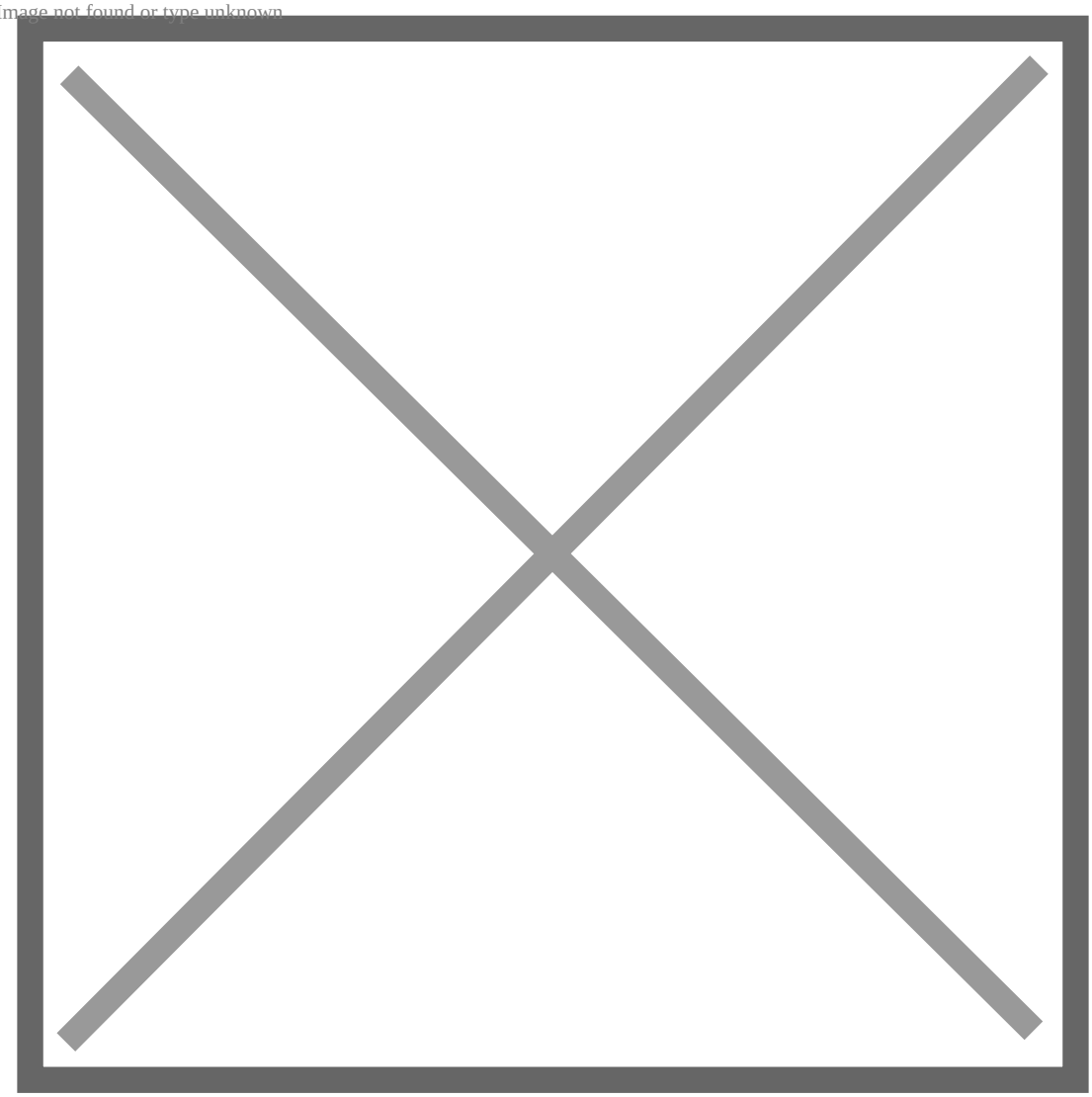


Figura 30 - Modelo completo de blocos em um dispositivo Profibus-PA.

PHYSICAL BLOCK (PB)

O bloco físico contém os dados característicos de um dispositivo, como o modelo do dispositivo, fabricante, versão, número de série etc. Há somente um bloco físico em cada dispositivo.

Image not found or type unknown



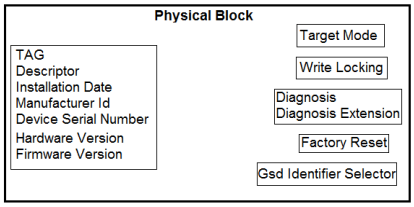


Figura 31 - Bloco físico.

As seguintes informações/funções são fornecidas pelo Physical Block:

- Tag;
- Diagnósticos;
- Gerenciamento de proteção de escrita (Write Locking);
- Factory Reset (Warm/Cold reset);
- Seleção do GSD Id Number (de acordo com o GSD do equipamento).

ANALOG INPUT BLOCK (AI)

O bloco AI recebe um valor analógico do processo através do bloco transdutor (TRD) em seu canal e o processa de acordo com sua configuração, disponibilizando-o ao mestre Profibus Classe 1.

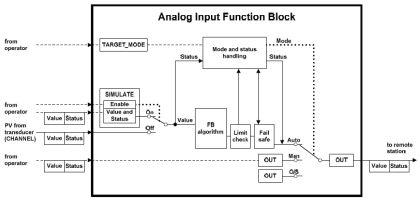


Figura 31 – Bloco AI.

ANALOG OUTPUT BLOCK – AO

O Bloco AO pode receber um valor de setpoint via comunicação cíclica ou mesmo via usuário quando seu modo de operação for automático (Auto). Quando seu modo de operação estiver em cascata (RCas), o valor e status do setpoint será fornecido no parâmetro RCAS_IN pelo mestre Profibus Classe 1, através da comunicação cíclica.

Este valor de setpoint é processado de acordo com o algoritmo do bloco e disponibilizado ao bloco transdutor (TRD) que atuará no elemento final de controle, como por exemplo, em um posicionador de válvula.

O valor de entrada deve estar de acordo com a escala de entrada, configurada no parâmetro PV_SCALE. A saída do bloco AO é fornecida ao bloco TRD de acordo com a escala de saída, configurada no parâmetro OUT_SCALE.

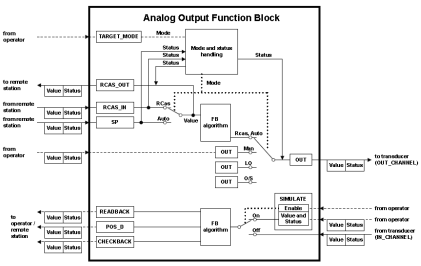


Figura 32 – Bloco AO.

TOTALIZER BLOCK – TOT

O bloco Totalizador, assim como o bloco AI, recebe um valor de processo via canal com o bloco transdutor. Este valor é totalizado ao longo do tempo, por exemplo em medições de vazão mássica ou volumétrica,

comuns em transmissores de pressão.

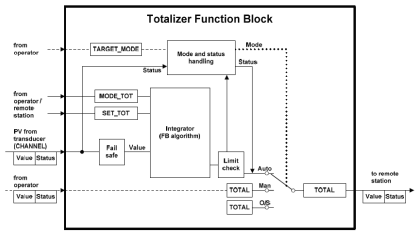


Figura 33 – Bloco TOT.

DIGITAL INPUT BLOCK – DI

O Bloco DI recebe um valor digital do processo através do bloco transdutor (TRD) em seu canal e o processa de acordo com sua configuração, disponibilizando ao mestre Profibus Classe 1, através do parâmetro OUT_D.

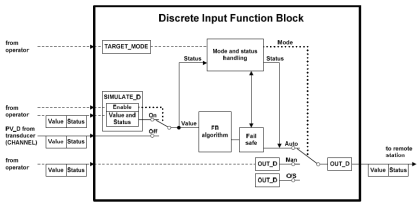


Figura 34 – DI.

DIGITAL OUTPUT BLOCK – DO

O Bloco DO pode receber um valor discreto de setpoint (SP_D) via comunicação cíclica ou via usuário, quando seu modo de operação for automático (Auto). Quando seu modo de operação estiver em cascata (RCas), o valor e status do setpoint são fornecidos via parâmetro RCAS_IN_D pelo mestre Profibus Classe 1, através da comunicação cíclica.

Este valor de setpoint é processado de acordo com o algoritmo do bloco e disponibilizado ao bloco transdutor (TRD) que atuará no elemento final de controle, como por exemplo, acionando uma válvula on/off. Similar ao bloco AO, o bloco DO suporta os seguintes modos de operação: O/S, MAN, RCAS, LO e AUTO.

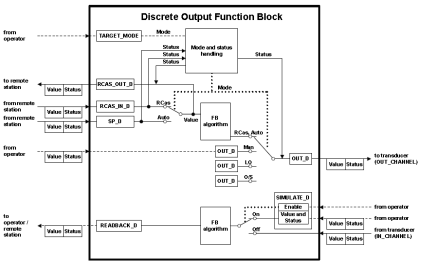


Figura 35 – DO.

FORMATO IEEE-754

O formato float usado no Profibus está definido de acordo com o padrão IEEE 754:

- byte_MSB (byte 1) byte 2 byte 3 byte_LSB (byte 4)
- byte_MSB (byte 1) = exp
- byte 2 = mantissa
- byte 3 = mantissa
- byte_LSB (byte 4) = mantissa

Exemplo: C2 ED 40 00 00

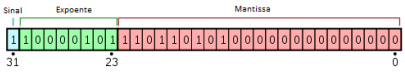
11000010 00000100 00000000 00000000

float= (-1) ^ bitsignal * [2 ^ (exp - 127) * (1 + mantissa)]

Onde: bitsignal é o bit mais significativo do byte_MSB (byte 1). Se este bit é 0, o número é positivo. Se for 1, é negativo. No exemplo anterior o número é negativo.

O valor de "exp" é a soma dos outros bits do byte_MSB (byte 1) e do bit mais significativo do byte 2.

Por exemplo:



- Bit 1 no sinal indica número negativo.
- Expoente 10000101 = 13310
- Portanto, o valor antes da polarização era:
- x + (28-1) -1 = 133
- x + 127 = 133
- x = 6
- Com o bit escondido, temos a mantissa:
- 1.110110101 x 26 => deslocando o ponto em 6 casas: 1110110.101
- 1110110= 11810
- 101 = 1*(2^-1) + 0*(2^-2) + 1*(2^-3) = 0.625
- 118+0.625 = 118.625
- Como o bit de sinal representa um número negativo, temos: -118.625.

CONFIGURAÇÃO CÍCLICA

O protocolo Profibus-PA possui mecanismos contra falhas e erros de comunicação entre o equipamento da rede e o mestre. Por exemplo, durante a inicialização do equipamento estes mecanismos são utilizados para verificar os possíveis erros.

Após a energização (power-up) do equipamento de campo (escravo), pode-se trocar dados ciclicamente com o mestre Profibus classe 1 se a parametrização do escravo estiver correta. Estas informações são obtidas através dos arquivos GSD (arquivos fornecidos pelos fabricantes dos equipamentos que contém suas descrições).

Através dos comandos abaixo, o mestre executa todo o processo de inicialização com os equipamentos Profibus-PA:

- Get_Cfg: carrega a configuração dos escravos no mestre e verifica a configuração da rede;
- Set_Prm: escreve nos parâmetros dos escravos e executa os serviços de parametrização da rede;
- Set_Cfg: configura os escravos de acordo com as entradas e saídas;
- Get_Cfg: um outro comando, onde o mestre verifica a configuração dos escravos.

Todos estes serviços são baseados nas informações obtidas dos arquivos GSD dos equipamentos. De acordo com a tabela baixo, pode-se obter dos blocos funcionais quais os parâmetros que participam da troca de dados cíclicos. Um máximo de 244 bytes de entrada e 244 bytes de saída podem ser trocados entre mestre e escravo Profibus.

Em equipamentos que possuem mais de um bloco do mesmo tipo (por exemplo, 3 Blocos AIs e 3 Blocos TOTs), a ordem na configuração cíclica deverá ser AI_1, AI_2, AI_3, TOT_1,TOT_2 e TOT_3. Nos casos onde não se configura nenum bloco ciclicamente, é necessário preencher a configuração com o módulo vazio (Empty_Module = 0x00). Por exemplo, no caso onde existem 3 Blocos AIs e 3 Blocos TOTs, mas o usuário só irá utilizar AI_1, AI_3, TOT_1 e TOT_3, a ordem na configuração cíclica deverá ser AI_1, Empty_Module, AI_3, TOT_1, Empty_Module e TOT_3.

Bloco Funcional	Parâmetro	Identificador	Identificador Especial ou Estendido
Analog Input (AI)	**OUT**	**0x94**	0x42, 0x84, 0x09, 0x05
Analog Output (AO)	**SP**	**0xA4**	0x82, 0x84, 0x09, 0x05
	SP READBACK POS_D	0x96, 0xA4	0xC6, 0x84, 0x86, 0x08, 0x05, 0x08, 0x05, 0x05, 0x05
	SP CHECK_BACK	0x92, 0xA4	0xC3, 0x84, 0x82, 0x08, 0x05, 0x0A
	SP READBACK POS_D CHECK_BACK	0x99, 0xA4	0xC7, 0x84, 0x89, 0x08, 0x05, 0x08, 0x05, 0x05, 0x05, 0x0A
	RCAS_IN RCAS_OUT	0xB4	0xC4, 0x84, 0x84, 0x08, 0x05, 0x08, 0x05
	RCAS_IN RCAS_OUT CHECK_BACK	0x97, 0xA4	0xC5, 0x84, 0x87, 0x08, 0x05, 0x08, 0x05, 0x0A
	SP READBACK RCAS_IN RCAS_OUT POS_D CHECK_BACK	0x9E, 0xA9	0xCD, 0x89, 0x8E, 0x08, 0x05, 0x08, 0x05, 0x08, 0x05, 0x08, 0x05, 0x05, 0x05, 0x0A
Discrete Input (DI)	**OUT_D**	**0x91**	
Discrete Output (DO)	**SP_D**	**0xA1**	
	SP_D READBACK_D		0xC1, 0x81, 0x81, 0x83
	SP_D CHECK_BACK		0xC1, 0x81, 0x82, 0x92
	SP_D READBACK_D CHECK_BACK		0xC1, 0x81, 0x84, 0x93
	RCAS_IN_D RCAS_OUT_D		0xC1, 0x81, 0x81, 0x8C
	RCAS_IN_D RCAS_OUT_D CHECK_BACK		0xC1, 0x81, 0x84, 0x9C
	SP_D READBACK_D RCAS_IN_D RCAS_OUT_D CHECK_BACK		0xC1, 0x83, 0x86, 0x9F
Totalizer	**TOTAL**	-	**0x41, 0x84, 0x85**
	TOTAL SET_TOT	-	0xC1, 0x80, 0x84, 0x85
	TOTAL SET_TOT MODE_TOT	-	0xC1, 0x81, 0x84, 0x85
Not used		**0x00**	**0x00**

Tabela 15 - Blocos Funcionais e comunicação cíclica.

CONCLUSÃO

Com esta variedade de funcionalidades e aplicações, o protocolo PROFIBUS oferece toda a flexibilidade autonomia que o usuário necessita para automatizar e otimizar processos, com facilidade de instalação, operação, manutenção e diagnósticos de variáveis que sejam importantes para o correto funcionamento da planta. O sucesso de toda rede de comunicação está intimamente ligado à qualidade das instalações. O seu tempo de comissionamento, startup e seus resultados podem estar comprometidos com a qualidade das instalações. Normalmente, mais de 90% dos problemas em redes digitais estão relacionados às condições das instalações.

Além disso, em plantas com tecnologias Profibus, recomenda-se serviços de certificação de redes por profissionais capacitados, garantindo, além da conformidade com os padrões, vantagens como:

- Aumento do desempenho e confiabilidade da rede;
- Redução no tempo de comissionamento, startups e paradas;
- Atuação preventiva e preditiva nas possíveis falhas em instalações e sinais de comunicação;
- Aumento da segurança operacional com as melhorias sugeridas;

- Elevação da performance operacional e redução dos custos globais de operação e manutenção, entre outros.

Este artigo não substitui os padrões IEC 61158 e IEC 61784 e nem os perfis e guias técnicos do PROFIBUS. Em caso de discrepância ou dúvida, os padrões IEC 61158 e IEC 61784, perfis, guias técnicos e manuais de fabricantes prevalecem. Sempre que possível, consulte as regulamentações físicas, assim como as práticas de segurança de cada área.

O conteúdo deste artigo foi elaborado cuidadosamente. Entretanto, erros não podem ser excluídos e assim nenhuma responsabilidade poderá ser atribuída ao autor. Sugestões de melhorias podem ser enviadas ao e-mail cesar.cassiolato@vivaceinstruments.com.br.

Sobre o autor

César Cassiolato é Presidente e Diretor de Qualidade da Vivace Process Instruments. É também Conselheiro Administrativo da Associação PROFIBUS Brasil América Latina desde 2011, onde foi Presidente de 2006 a 2010, Diretor Técnico do Centro de Competência e Treinamento em PROFIBUS, Diretor do FDT Group no Brasil e Engenheiro Certificado na Tecnologia PROFIBUS e Instalações PROFIBUS pela Universidade de Manchester.

Referências

- Manuais Vivace Process Instruments
- Artigos Técnicos César Cassiolato
- https://www.vivaceinstruments.com.br/
- Material de treinamento e artigos técnicos PROFIBUS - César Cassiolato
- Especificações técnicas PROFIBUS
- http://www.profibus.org.br/