

ARTIGO TÉCNICO

CONTINUAÇÃO

O que é PROFIBUS

A tecnologia da informação tornou-se determinante no desenvolvimento da tecnologia da automação, alterando hierarquias e estruturas no ambiente dos escritórios e chega agora ao ambiente industrial nos seus mais diversos setores, desde as indústrias de processo e manufatura até prédios e sistemas logísticos. A capacidade de comunicação entre dispositivos e o uso de mecanismos padronizados, abertos e transparentes são componentes indispensáveis no conceito de automação de hoje. A comunicação expande-se rapidamente no sentido horizontal, nos níveis inferiores (*field level*), assim como no sentido vertical integrando todos os níveis hierárquicos de um sistema. De acordo com as características da aplicação e do custo máximo a ser atingido, uma combinação gradual de diferentes sistemas de comunicação, tais como: Ethernet, PROFIBUS e AS-Interface, oferece as condições ideais de redes abertas em processos industriais.

No nível de atuadores/sensores o AS-Interface é o sistema de comunicação de dados ideal, pois os sinais binários de dados são transmitidos via um barramento extremamente simples e de baixo custo, juntamente com a alimentação 24Vdc necessária para alimentar estes mesmos sensores e atuadores. Outra característica importante é a de que os dados são transmitidos ciclicamente, de uma maneira extremamente eficiente e rápida.

No nível de campo, a periferia distribuída, tais como: módulos de E/S, transdutores, acionamentos (*drives*), válvulas e painéis de operação, trabalham em sistemas de automação, via um eficiente sistema de comunicação em tempo real, o PROFIBUS DP ou PA. A transmissão de dados do processo é efetuada ciclicamente, enquanto alarmes, parâmetros e diagnósticos são transmitidos somente quando necessário, de maneira acíclica.

No nível de célula, os controladores programáveis, como os CLPs e os PCs, comunicam-se entre si, requerendo, dessa maneira, que grandes pacotes de dados sejam transferidas em inúmeras e poderosas funções de comunicação. Além disso, a integração eficiente aos sistemas de comunicação corporativos existentes, tais como: Intranet, Internet e Ethernet, são requisito absolutamente obrigatório. Essa necessidade é suprida pelos protocolos PROFIBUS FMS e PROFINet.

A revolução da comunicação industrial na tecnologia da automação revela um enorme potencial na otimização de sistemas de processo e tem feito uma importante contribuição na direção da melhoria no uso de recursos. As informações a seguir fornecerão uma explicação resumida do PROFIBUS como um elo de ligação central no fluxo de informações na automação.

O PROFIBUS, em sua arquitetura, está dividido em três variantes principais:

- PROFIBUS DP

O PROFIBUS DP é a solução de alta velocidade (*high-speed*) do PROFIBUS. Seu desenvolvimento foi otimizado especialmente para comunicações entre 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.

Atualmente, 90% das aplicações envolvendo escravos Profibus utilizam-se do PROFIBUS DP. Essa variante está disponível em três versões: DP-V0 (1993), DP-V1 (1997) e DP-V2 (2002). A origem de cada versão aconteceu de acordo com o avanço tecnológico e a demanda das aplicações exigidas ao longo do tempo.

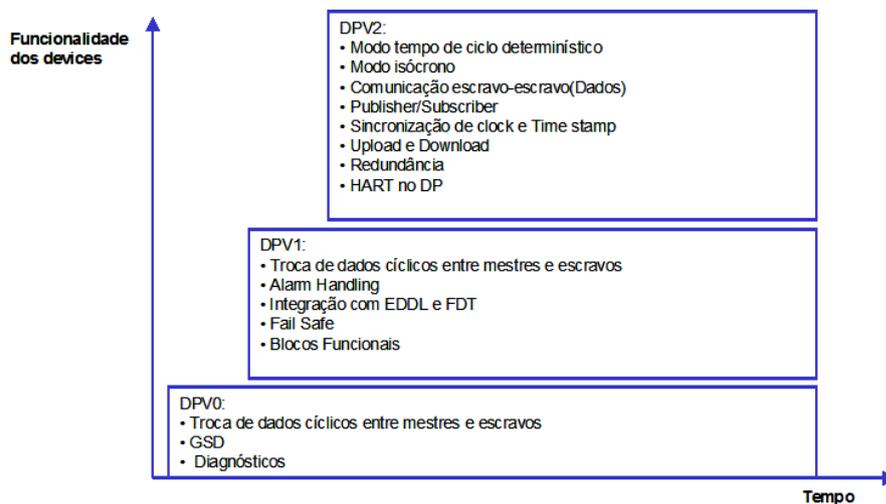


Figura 2 – Versões do Profibus.

- PROFIBUS-FMS

O PROFIBUS-FMS provê ao usuário uma ampla seleção de funções quando comparado com as outras variantes. É a solução de padrão de comunicação universal que pode ser usada para resolver tarefas complexas de comunicação entre CLPs e DCSs. Essa variante suporta a comunicação entre sistemas de automação, assim como a troca de dados entre equipamentos inteligentes, e é geralmente utilizada em nível de controle. Recentemente, pelo fato de ter como função primária a comunicação mestre-mestre (*peer-to-peer*), vem sendo substituída por aplicações em *Ethernet*.

- 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.

Posteriormente, em outras edições, o PROFINET será abordado.

Todas as variantes do PROFIBUS são baseadas no modelo de comunicação de redes OSI (*Open System Interconnection*) em concordância com o padrão internacional ISO 7498. Devido aos requisitos de campo, somente os níveis 1 e 2, e ainda o nível 7 no FMS, são implementados por razões de eficiência.

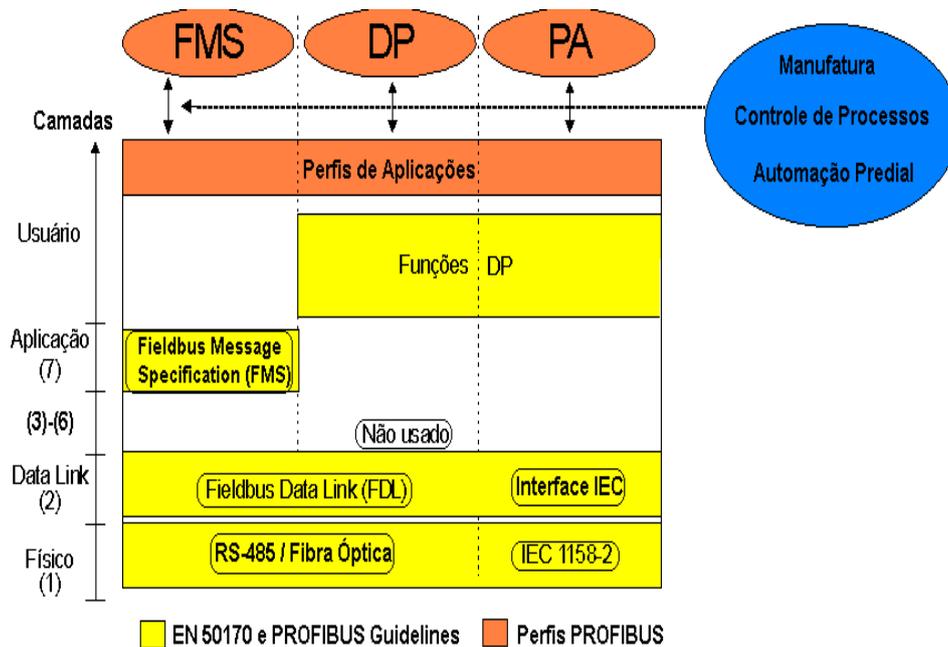


Figura 3 – Arquitetura de comunicação do Protocolo PROFIBUS.

Nas três variantes os dois níveis inferiores são muito parecidos, sendo que a grande diferença está na interface com os programas de aplicação. O nível 1 define o meio físico. O nível 2 (nível de transporte de dados) define o protocolo de acesso ao barramento. O nível 7 (nível de aplicação) define as funções de aplicação.

Essa arquitetura assegura transmissão de dados rápida e eficiente. As aplicações disponíveis ao usuário, assim como o comportamento dos vários tipos de dispositivos PROFIBUS-DP, estão especificados na interface do usuário.

O PROFIBUS-FMS tem os níveis 1, 2 e 7 definidos, onde o nível de aplicação é composto de mensagens FMS (*Fieldbus Message Specification*) e da camada inferior (*LLI - Lower Layer Interface*). O FMS define um amplo número de serviços poderosos de comunicação entre mestres e entre mestres e escravos. O LLI define a representação de serviços do FMS no protocolo de transmissão do nível 2.

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.

RS 485: O MEIO FÍSICO MAIS APLICADO DO PROFIBUS

A transmissão RS 485 é a tecnologia de transmissão mais utilizada no PROFIBUS, embora a fibra ótica possa ser usada em casos de longas distâncias (maior do que 80Km). Seguem as principais características:

- Transmissão Assíncrona NRZ.
- Baud rates de 9.6 kBit/s a 12 Mbit/s, selecionável.
- Par trançado com blindagem.
- 32 estações por segmento, máx. 127 estações.
- Distância dependente da taxa de transmissão (tabela 1).
- 12 MBit/s = 100 m; 1.5 MBit/s = 400m; ≤ 187.5 kBit/s = 1000 m.
- Distância expansível até 10Km com o uso de repetidores.
- 9 PIN, D-Sub conector.

Normalmente se aplica em áreas envolvendo alta taxa de transmissão, instalação simples a um custo baixo. A estrutura do barramento permite a adição e remoção de estações sem influências em outras estações com expansões posteriores sem nenhum efeito em estações que já estão em operação.

Quando o sistema é configurado, apenas uma única taxa de transmissão é selecionada para todos os dispositivos no barramento.

Há necessidade da terminação ativa no barramento no começo e fim de cada segmento, conforme a figura 3, sendo que, para manter a integridade do sinal de comunicação, ambos terminadores devem ser energizados.

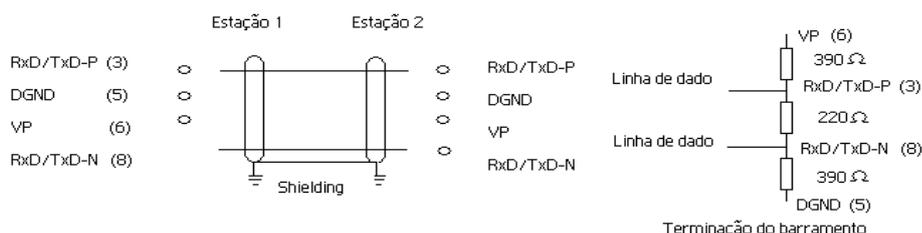


Figura 4 – Cabeamento e terminação para transmissão RS-485 no PROFIBUS.

Para casos com mais de 32 estações ou para redes densas, devem ser utilizados repetidores. O comprimento máximo do cabeamento depende da velocidade de transmissão, conforme a tabela 1.

Baud rate (kbit/s)	9.6	19.2	93.75	187.5	500	1500	2000
Comprimento / Segmento (m)	1200	1200	1200	1000	400	200	100

Tabela 1 – Comprimento em função da velocidade de transmissão com cabo tipo A.

TECNOLOGIA DE TRANSMISSÃO NO PROFIBUS PA

A tecnologia de transmissão é síncrona com codificação Manchester em 31.25 Kbits/s (modo tensão), está definida segundo o IEC 61158-2 e foi elaborada no intuito de satisfazer os requisitos das indústrias químicas e petroquímicas: segurança intrínseca e possibilidade de alimentar os equipamentos de campo pelo barramento. As opções e os limites de trabalho em áreas potencialmente explosivas foram definidos segundo o modelo FISCO (*Fieldbus Intrinsically Safe Concept*).

A tabela 2 mostra algumas características do IEC 61158-2:

CARACTERÍSTICAS	MEIO FÍSICO DE ACORDO COM IEC1158-2, VARIANTE H1
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	Máximo: 32(<i>non-Ex</i>) <i>Explosion Group IIC: 9</i> <i>Explosion Group IIB: 23</i>
Cabeamento Máximo	1900 m, expansível a 10Km com 4 repetidores
Máximo comprimento de spur	120m/spur
Sinal de comunicação	Codificação Manchester, com modulação tensão.

Tabela 2 – Características da Tecnologia de Transmissão IEC 61158-2.

TRANSMISSÃO POR FIBRA ÓTICA

A solução utilizando-se de fibra ótica vem atender às necessidades de imunidade a ruídos, diferenças de potenciais, longas distâncias, arquitetura em anel e redundância física e altas velocidades de transmissão.

TIPO DE FIBRA	CARACTERÍSTICAS
Fibra de vidro monomodo	Distância média de 2 – 3 Km
Fibra de vidro multimodo	Distância Longa, > 15 Km
Fibra Sintética	Distância Curta, > 80 km
Fibra PCS/HCS	Distância Curta, > 500 m

Tabela 3 – Tipos de fibras e características envolvidas.

O SISTEMA DE COMUNICAÇÃO E SUA CAMADA DE SEGURANÇA E ACESSO

A eficiência da comunicação é determinada pelas funções do nível 2, onde são especificadas tarefas de controle de acesso ao barramento, as estruturas dos *frames* de dados, serviços básicos de comunicação e muitas outras funções.

As tarefas do nível 2 são executadas pelo FDL (*Fieldbus Data Link*) e pelo FMA (*Fieldbus Management*), sendo que o primeiro é responsável pelas seguintes tarefas:

- Controle de acesso do barramento (*MAC-Medium Access Control*).
- Estrutura dos telegramas.
- Segurança dos dados.
- Disponibilidade dos serviços de transmissão de dados:
 - SDN (*Send Data with no acknowledge*)
 - SRD (*Send and Request Data with reply*)

O FMA provê várias funções de gerenciamento, como por exemplo:

- Configuração de parâmetros de operação.
- Reporte de eventos.
- Ativação dos pontos de acesso de serviços (SAPs).

A arquitetura e a filosofia do protocolo PROFIBUS asseguram a cada estação envolvida nas trocas de dados cíclico um tempo suficiente para a execução de sua tarefa de comunicação dentro de um intervalo de tempo definido. Para isso, utiliza-se do procedimento de passagem de “token”, usado por estações mestres do barramento ao comunicar-se entre si, e o procedimento mestre-escravo para a comunicação com as estações escravas. A mensagem de “token” (um *frame* especial para a passagem de direito de acesso de um mestre para outro) deve circular, sendo uma vez para cada mestre dentro de um tempo máximo de rotação definido (que é configurável). No PROFIBUS o procedimento de passagem do “token” é usado somente para comunicações entre os mestres.

Comunicação Multi-mestre

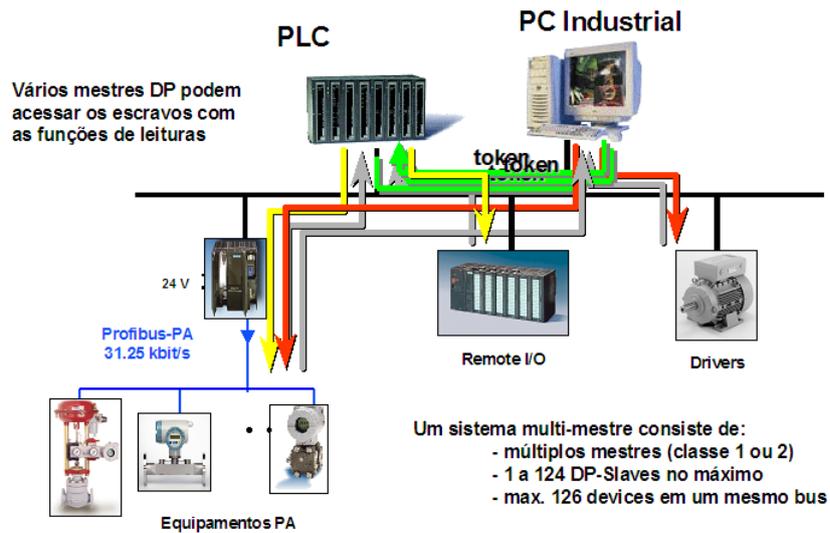


Figura 5 – Comunicação Multi-Mestre.

Comunicação Mestre e Escravo

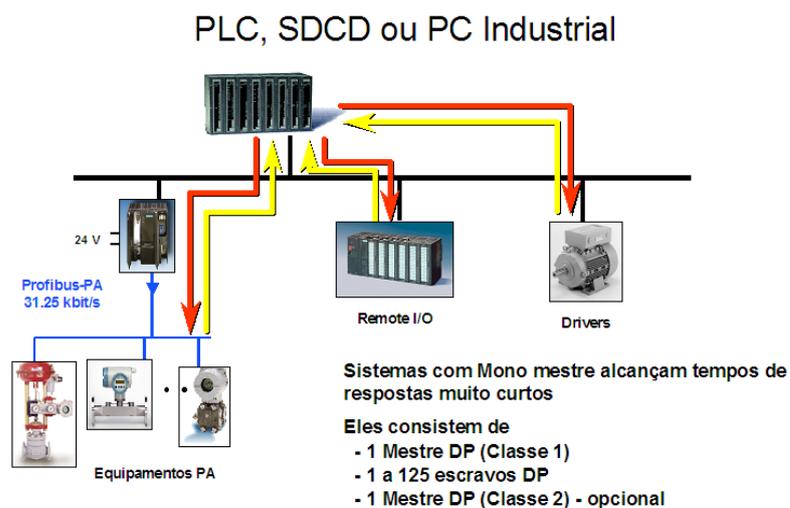


Figura 6 – Comunicação Mestre- Escravo.

O procedimento mestre-escravo possibilita ao mestre que esteja ativo (o que possui o “token”) acessar os seus escravos (através dos serviços de leitura e escrita).

O PROFIBUS utiliza subconjuntos diferentes dos serviços do nível 2 em cada um de seus perfis (DP, FMS, PA). Veja a tabela 4.

SERVIÇO	FUNÇÃO	DP	FMS	PA
SDA	<i>Send Data with Acknowledge</i> (Envia dados com confirmação)	não	sim	não
SRD	<i>Send and Request Data with reply</i> (Envia e recebe dados com resposta)	sim	sim	sim
SDN	<i>Send Data with No acknowledge</i> (Envia dados sem confirmação)	sim	sim	sim
CSRD	<i>Cyclic Send and Request Data with reply</i> (Envia e recebe dados ciclicamente com resposta)	não	sim	não

Tabela 4 – Serviços do PROFIBUS (nível 2).

Serviços de endereçamento utilizando 7 bits são usados para identificar os participantes na rede, sendo que da faixa de 0 a 127, os seguintes endereços são reservados:

- 126: endereço padrão atribuído via mestre.
- 127: usado para enviar *frames* em *broadcast*.

PROFIBUS-DP E A ALTA TAXA DE VELOCIDADE DE COMUNICAÇÃO

O perfil PROFIBUS-DP foi desenvolvido para atender comunicação cíclica de forma rápida entre os dispositivos distribuídos. Além disso, o PROFIBUS DP oferece funções para serviços de acesso acíclico, como configuração, monitoração, diagnósticos e gerenciamento de alarmes de equipamentos de campo.

Em 12Mbit/s, O PROFIBUS-DP requer somente 1 ms para transmitir 512 bits de entrada e 512 bits de saída, distribuídos entre 32 estações. Esse perfil é ideal para controles discretos, exigindo alta velocidade de processamento. A Figura 7 mostra o tempo típico de transmissão do PROFIBUS-DP, em função do número de estações e velocidade de transmissão, onde cada escravo possui 2 bytes de entrada e 2 bytes de saída e o “*Minimal Slave Interval Time*” é 200µs.

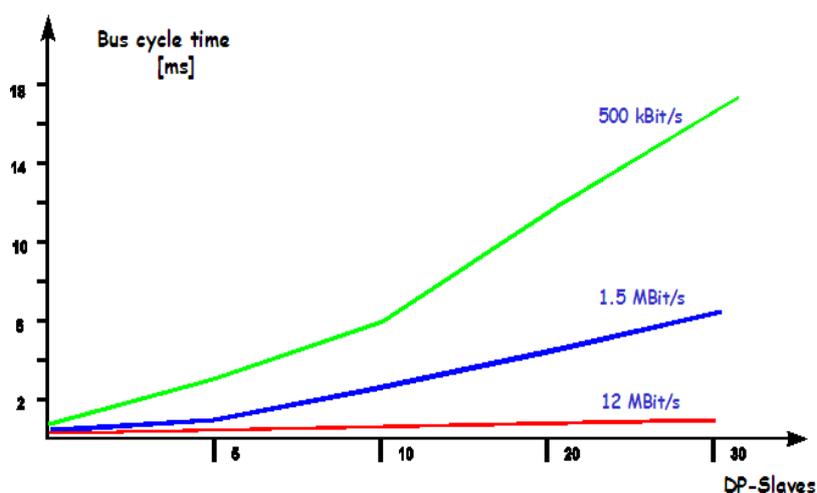


Figura 7 – Tempo de ciclo de barramento de um sistema de monomestre do DP.

PROFIBUS: TELEGRAMA

O FDL é que define os telegramas, sendo que se pode ter:

- Telegramas sem campos de dados (6 bytes de controle).
- Telegramas com um campo de dado de comprimento fixo (8 bytes de dados e 6 de controle).
- Telegramas com campo de dados variável (de 0 a 244 bytes de dados e de 9 a 11 de controle).
- Reconhecimento rápido (1 byte).
- Telegrama de *token* para acesso ao barramento (3 bytes).

A integridade e a segurança das informações são mantidas em todas as transações, pois se incluem a paridade e a checagem do *frame*, alcançando-se dessa forma "*Hamming Distance*" de HD=4.

A figura 8 ilustra o princípio de transferência dos dados de usuários. Somente lembrando que, no lado DP, os dados são transmitidos de modo assíncrono sob a 485 e, no lado PA, de forma bit-síncrona, no H1.

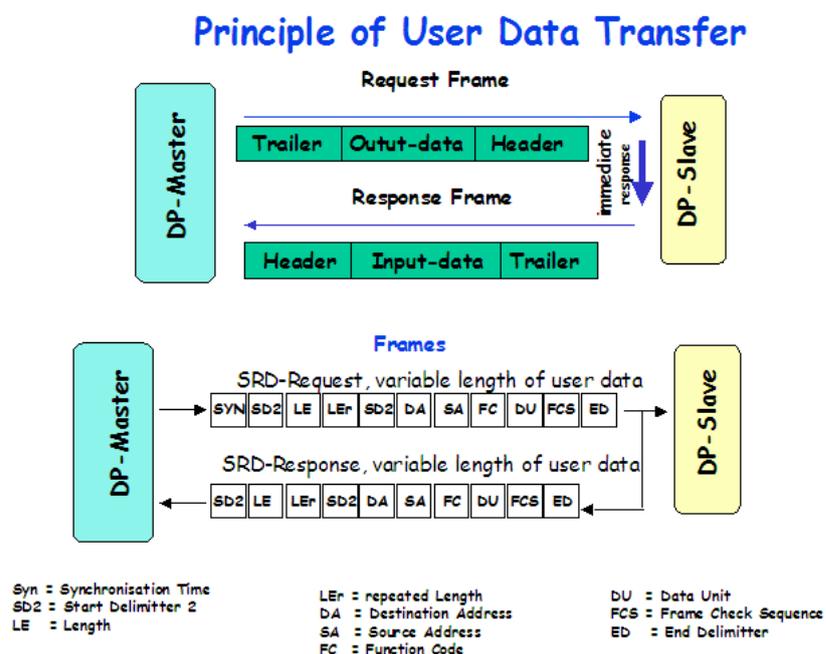


Figura 8 – Princípio de transferência dos dados de usuários utilizado pelo FDL.

Para trocar dados com um escravo é absolutamente essencial que o mestre observe a seguinte seqüência durante o *startup*:

1. O endereço da estação.
2. Pedido de diagnóstico.
3. Parametrização do escravo.
4. Checagem em pedido de diagnose antes de se estabelecer a troca de dados cíclica, como confirmação de que a parametrização inicial está OK.
5. Troca de dados cíclicos.
6. Controle global.

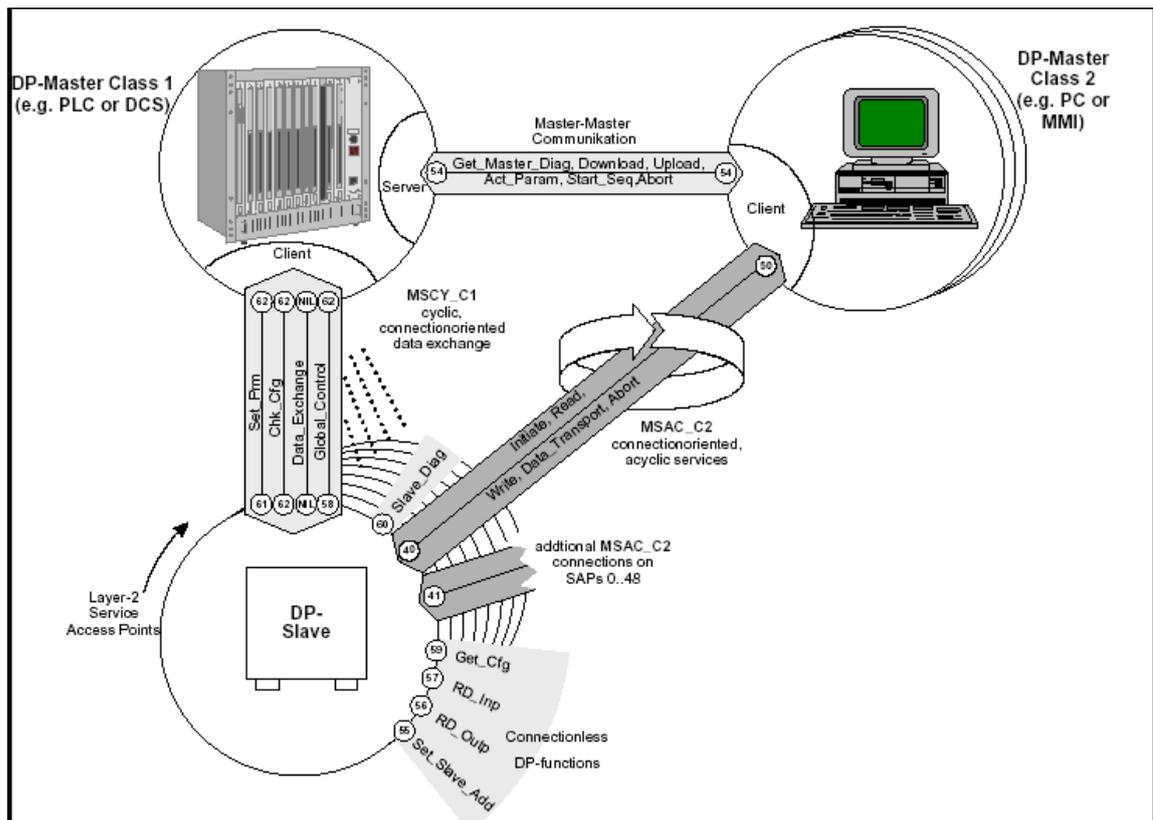


Figura 9 – Serviços Mandatários e Opcionais entre um escravo e mestre classe 1 e 2.

A figura 9 mostra serviços mandatários e opcionais entre um escravo DP e mestres classe 1 e 2 que mestres e escravos devem possuir.

TIPOS DE DISPOSITIVOS

Cada sistema DP pode conter três tipos diferentes de dispositivos:

1) MESTRE DP CLASSE 1 (DPM1)

É um controlador principal que troca informações ciclicamente com os escravos. Os controladores lógicos programáveis (CLPs) são exemplos desses dispositivos mestres.

2) MESTRE DP CLASSE 2 (DPM2)

São as estações de engenharia utilizadas para configuração, monitoração ou sistemas de supervisão como, por exemplo, Simatic PDM, CommuwinII, Pactware, etc.

3) ESCRAVO

Um escravo DP é um dispositivo periférico, tais como: dispositivos de I/O, atuadores, IHM, válvulas, transdutores, etc. Há também dispositivos que têm somente entrada, somente saída ou uma combinação de entradas e saídas. Aqui, ainda pode-se citar os escravos PA, uma vez que são vistos pelo sistema com se fossem escravos DP.

A quantidade de informação de entrada e saída depende do tipo de dispositivo, sendo que se permite até 244 bytes de entrada e 244 bytes de saída.

A transmissão de dados entre o DPM1 e os escravos é executada automaticamente pelo DPM1 e é dividida em três fases: parametrização, configuração e transferência de dados.

Segurança e confiabilidade são indispensáveis para que se possa adicionar ao PROFIBUS-DP as funções de proteção contra erros de parametrização ou falha do equipamento de transmissão. Para isso, o mecanismo de monitoração é implementado tanto no mestre DP, quanto nos escravos, em forma de monitoração de tempo especificada durante a configuração. O Mestre DPM1 monitora a transmissão de dados dos escravos com o *Data_Control_Timer*. Um contador de tempo é utilizado para cada dispositivo. O timer expira quando uma transmissão de dados correta não ocorre dentro do intervalo de monitoração e o usuário é informado quando isso acontece. Se a reação automática a erro (*Auto_Clear = true*) estiver habilitada, o mestre DPM1 termina o estado de OPERAÇÃO, protegendo as saídas de todos os seus escravos e passando seu estado para "CLEAR". O escravo usa o "watchdog timer" para detectar falhas no mestre ou na linha de transmissão. Se nenhuma comunicação de dados com o mestre ocorrer dentro do intervalo de tempo do "watchdog timer", o escravo automaticamente levará suas saídas para o estado de segurança (*fail safe state*).

As funções DP estendidas possibilitam funções acíclicas de leitura e escrita e reconhecimento de interrupção que podem ser executadas paralelamente e independentes da transmissão cíclica de dados. Isso permite que o usuário faça acessos acíclicos dos parâmetros (via mestre classe 2) e que valores de medida de um escravo possam ser acessados por estações de supervisão e de diagnóstico.

Atualmente essas funções estendidas são amplamente usadas em operação *online* dos equipamentos de campo PA pelas estações de engenharia. Essa transmissão tem uma prioridade mais baixa do que a transferência cíclica de dados (que exige alta velocidade e alta prioridade para o controle).

TEMPO DE RESPOSTA NO PROFIBUS DP

O tempo de resposta em um sistema Profibus DP é essencialmente dependente dos seguintes fatores:

- MaxTSDR (tempo de resposta após o qual uma estação pode responder).
- A taxa de comunicação selecionada.
- *Min_Slave_Intervall* (tempo entre dois ciclos de *polling*, no qual um escravo pode trocar dados com um escravo. Depende do ASIC utilizado, porém no mercado encontra-se tempos de 100µs).

Para efeitos práticos, à 12Mbits/s pode-se assumir que o tempo de ciclo de mensagem (Tmc), que envolve o *prompting telegram* + TSDR + a resposta do escravo, onde N é o número de entradas e saídas do escravo, é:

$$T_{mc} = 27\mu s + N \times 1.5\mu s$$

Por exemplo: um mestre com 5 escravos e cada escravo com 10 bytes de entrada e 20 de saída, à 12Mbits/s teria um Tmc aproximado de 72µs/slave. O tempo de ciclo de barramento é obtido somando-se todos os ciclos de mensagem:

$$T_{bc} = 5 \times 72\mu s = 360\mu s$$

Uma explicação mais detalhada sobre tempos do sistema pode ser consultada no padrão IEC 61158.

PROFIBUS PA

A utilização do PROFIBUS em dispositivos típicos e aplicações em controle de processos estão definidas segundo o perfil PROFIBUS-PA, que define os parâmetros dos equipamentos de campo e seu comportamento típico, independente do fabricante, e se aplica a transmissores de pressão, temperatura, posicionadores. É baseado no conceito de blocos funcionais que são padronizados de tal forma a garantir a interoperabilidade entre os equipamentos de campo.

Os valores e o status da medição, assim como os valores de *setpoint* recebido pelos equipamentos de campo no PROFIBUS-PA, são transmitidos ciclicamente com mais alta prioridade via mestre classe 1 (DPM1). Já os parâmetros para visualização, operação, manutenção e diagnose são transmitidos por ferramentas de engenharia (mestre classe 2, DPM2) com baixa prioridade através dos serviços acíclicos

pelo DP via conexão C2. Ciclicamente também se transmite uma seqüência de bytes de diagnósticos. A descrição dos bits desses bytes estão no arquivo GSD do equipamento e dependem do fabricante.

O tempo de ciclo (T_c) aproximado pode ser calculado como:

$T_c \geq 10\text{ms} \times \text{número de equipamento} + 10\text{ms}$ (serviços acíclicos mestre classe 2) + 1.3ms (para cada conjunto de 5 bytes de valores cíclicos).

Imagine a situação onde se tem 5 malhas de controle com 5 transmissores de pressão e 5 posicionadores de válvula. Teria-se um tempo de ciclo de aproximadamente 110 ms.

ELEMENTOS DA REDE PROFIBUS PA

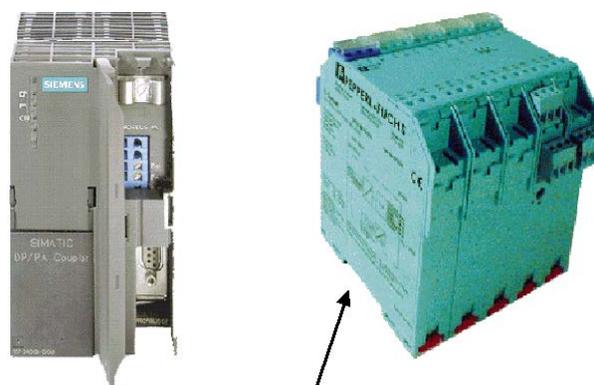
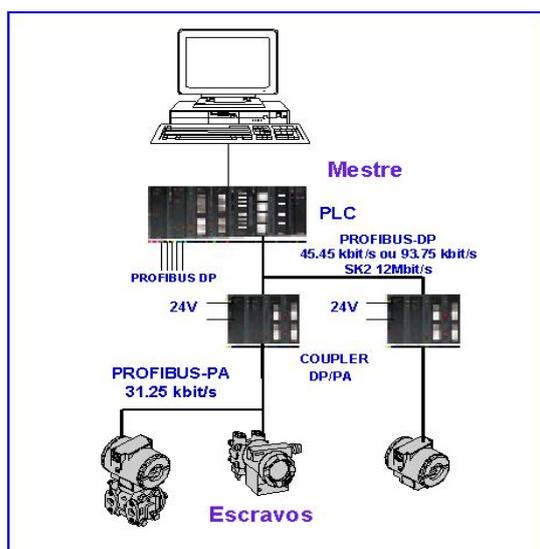
Basicamente, pode-se citar os seguintes elementos de uma rede PROFIBUS:

1) **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 ou CommwinII ou Pactware).

2) **Acopladores (Couplers):** são dispositivos utilizados para traduzir as características físicas entre o PROFIBUS DP e o PROFIBUS PA (H1: 31,25 kbits/s). E ainda:

- São transparentes para os mestres (não possuem endereço físico no barramento).
- Atendem aplicações seguras (Ex) e (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 até 24 Vdc, 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 SK2: até 12Mbits/s) e Siemens (45.45 kbits/s).



Existe um diagrama de conexões

Figura 9 – Arquitetura básica com couplers.

3) *Link devices*: São dispositivos utilizados como escravos da rede PROFIBUS DP e mestres da rede PROFIBUS PA (H1: 31,25kbts/s). São utilizados para se conseguir altas velocidades (de até 12Mbits/s) no barramento DP. E ainda:

- Possuem endereço físico no barramento.
- Permitem que sejam acoplados até 5 *couplers*, mas limitam o número de equipamentos em 30 em um barramento “Non-Ex” e 10 em barramento “Ex”. Com isso, aumentam a capacidade de endereçamento da rede DP.

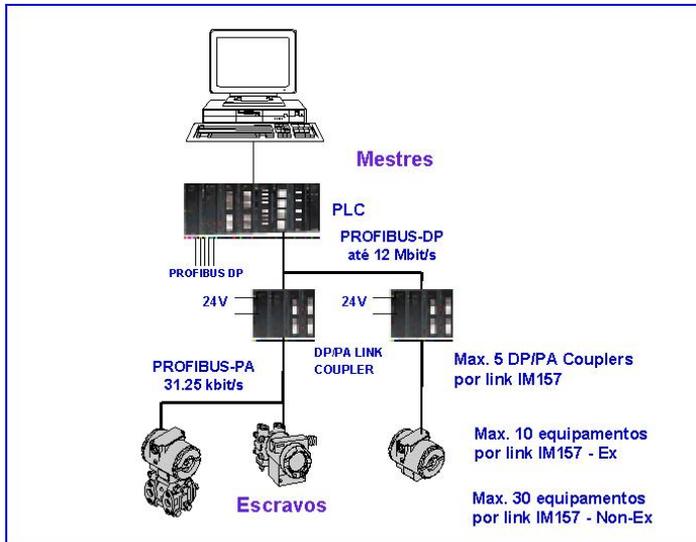


Figura 10 – Arquitetura básica com couplers e links (IM157).

4) Terminador: consiste de um capacitor de 1 μ F e um resistor de 100 Ω conectados em série entre si e em paralelo ao barramento, tendo as seguintes funções:

- *Shunt* do sinal de corrente: o sinal de comunicação é transmitido como corrente mas recebido como tensão. O terminador faz esta conversão.
- Proteção contra reflexão do sinal de comunicação: deve ser colocado nas duas terminações do barramento, um no final e outro geralmente no *coupler*.

5) Cablagem: recomenda-se utilizar cabo do tipo par trançado 1x2, 2x2 ou 1x4 com blindagem, e ainda:

- Diâmetro: 0.8 mm² (AWG 18).
- Impedância: 35 a 165 Ohm nas frequências de 3 à 20 Mhz.
- Capacitância: menor que 30 pF por metro.

Par	Shield	Trançado	Bitola	Comprimento	Tipo
Simplex	Sim	Sim	0.8 mm ² (AWG 18)	1900m	A
Multi	Sim	Sim	0.32 mm ² (AWG 22)	1200m	B
Multi	Não	Sim	0.13 mm ² (AWG 26)	400m	C
Multi	Sim	Não	1.25 mm ² (AWG 16)	200m	D

Figura 11 – Dados de cabos do Profibus PA.

ENDEREÇAMENTO NA REDE PROFIBUS

Quanto ao endereçamento, pode-se ter duas arquiteturas a analisar onde fundamentalmente tem-se a transparência dos *couplers* e a atribuição de endereços aos *links devices*, conforme se pode ver nas figuras 12 e 13.

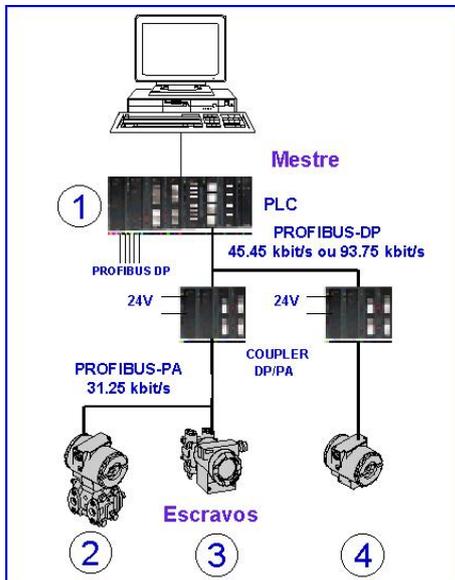


Figura 12 – Endereçamento com couplers.

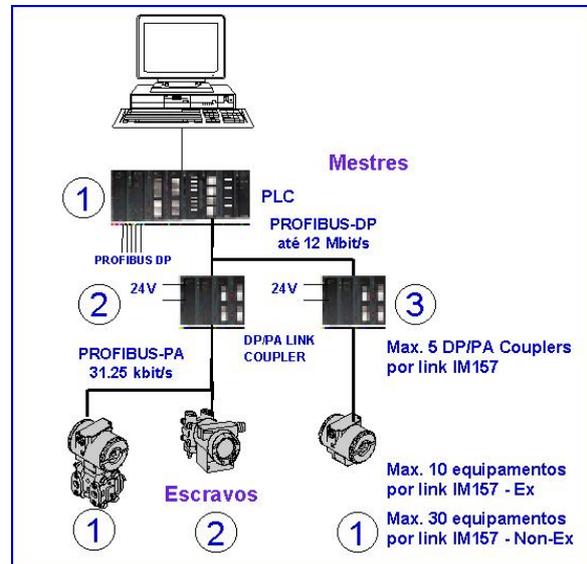


Figura 13 – Endereçamento com links.

Note que na figura 13 a capacidade de endereçamento é significante aumentada com a presença dos *links*, uma vez que são escravos para o DP e mestres do PA.

TOPOLOGIA

Em termos de topologia, pode-se ter as seguintes distribuições: estrela (figura 14), barramento (figura 15) e ponto-a-ponto (figura 16):

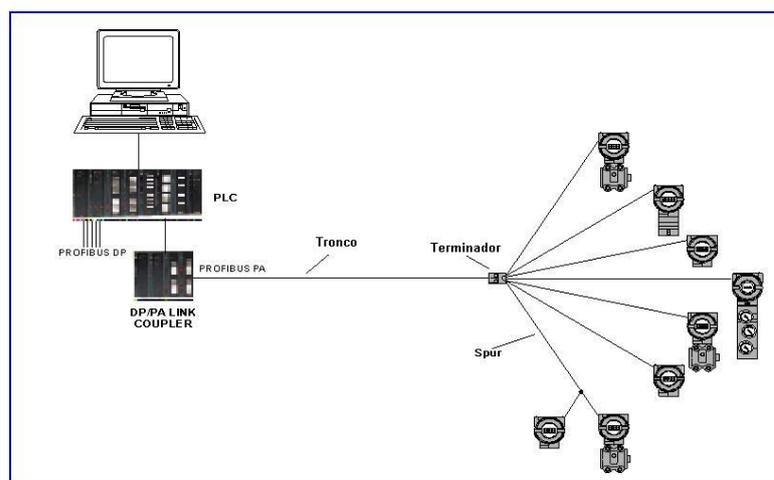


Figura 14 – Topologia Estrela.

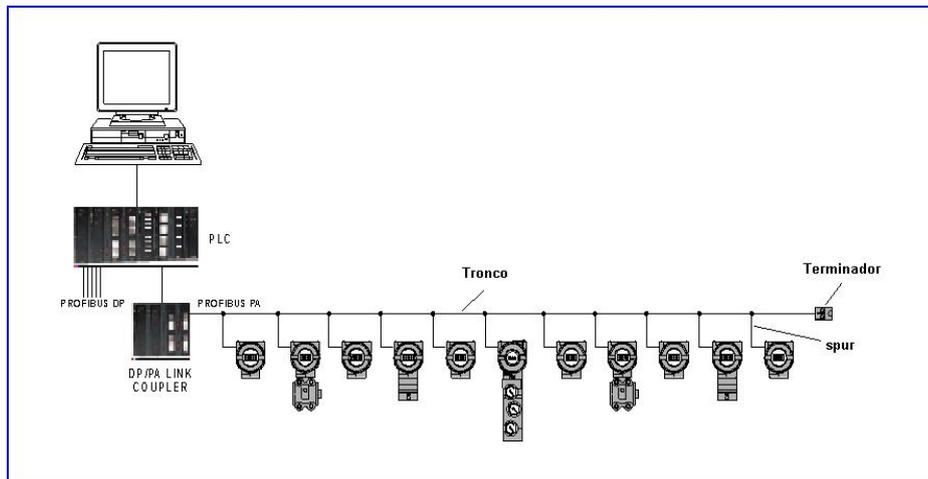


Figura 15 – Topologia Barramento.

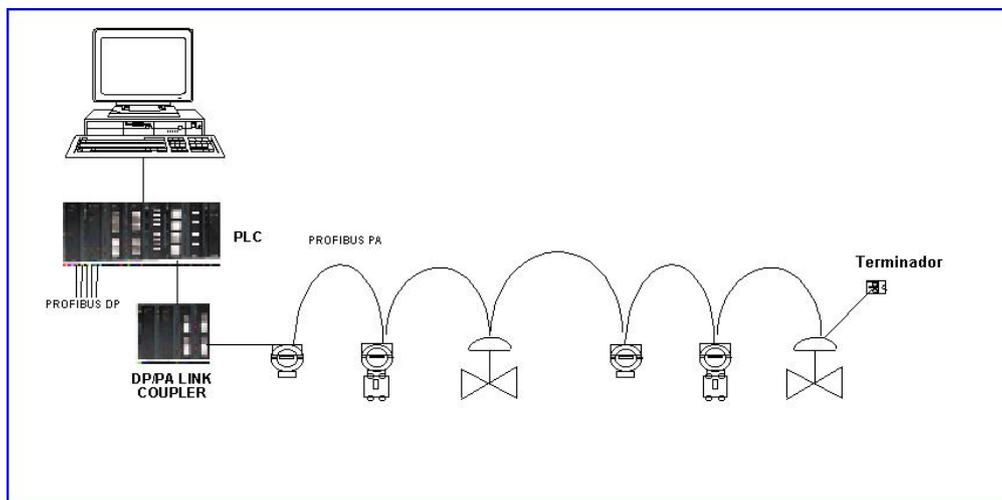


Figura 16 – Topologia Ponto-a-Ponto.

INTEGRAÇÃO EM SISTEMAS PROFIBUS

Para se integrar um equipamento num sistema PROFIBUS basta o uso do arquivo GSD do equipamento. Cada tipo de equipamento possui o seu arquivo GSD (*datasheet* eletrônico), que é um arquivo texto com detalhes de revisão de hardware e software, *bus timing* do equipamento e informações sobre a troca de dados cíclicos. Veja o exemplo na figura 17.

#Profibus_DP		Min_Slave_Intervall	= 250
GSD_Revision	= 2	Modular_Station	= 1
Vendor_Name	= "SMAR"	Max_Module	= 2
Model_Name	= "LD303"	Max_Input_Len	= 10
Revision	= "1.0"	Max_Output_Len	= 2
Ident_Number	= 0x0895	Max_Data_Len	= 12
Protocol_Ident	= 0	Max_Diag_Data_Len	= 14
Station_Type	= 0	Slave_Family	= 12
Bitmap_Device	= "Src0895n"	User_Prm_Data_Len	= 0
FMS_supp	= 0	;	
Hardware_Release	= "3.0"	;Modules for Analog Input	
Software_Release	= "1.17"	Module = "Analog Input (short) " 0x94	
31.25_supp	= 1	EndModule	
45.45_supp	= 1	Module = "Analog Input (long) " 0x42, 0x84, 0x08, 0x05	
93.75_supp	= 1	EndModule	
187.5_supp	= 1	;	
MaxTsdr_31.25	= 100	;Module for Totalizer	
MaxTsdr_45.45	= 250	Module = "Total " 0x41, 0x84, 0x85	
MaxTsdr_93.75	= 1000	EndModule	
MaxTsdr_187.5	= 1000	Module = "Total_Settot " 0xC1, 0x80, 0x84, 0x85	
Redundancy	= 0	EndModule	
Repeater_Ctrl_Sig	= 0	Module = "Total_Settot_Modetot " 0xC1, 0x81, 0x84, 0x85	
24V_Pins	= 0	EndModule	
Freeze_Mode_supp	= 0	;	
Sync_Mode_supp	= 0	;Empty module	
Auto_Baud_supp	= 0	Module = "EMPTY_MODULE" 0x00	
Set_Slave_Add_supp	= 1	EndModule	

Figura 17 – Arquivo GSD para o LD303 – Transmissor de Pressão.

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.

PROFIBUS-PA PROFILE 3.0

Um sistema PROFIBUS pode ser operado e monitorado independentemente de equipamentos e fabricantes. Essa afirmação será verdadeira se todas as funcionalidades e parametrizações, bem como as maneiras de acessos a essas informações, forem padrões. Esses padrões são determinados pelos *profiles* (perfis) do PROFIBUS-PA.

Esses *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: que dizem respeito às variáveis de processo, cuja informação é descrita nos arquivos GSD (*device data master*) e que serão lidas ciclicamente pelos mestres classe 1 e também aciclicamente pelos mestres classe 2;

Mestre Classe 1: Classe 1 - responsável pelas operações cíclicas (leituras/escritas) e controle das malhas abertas e fechadas do sistema.

Mestre Classe 2: Classe 2 - responsável pelos acessos acíclicos dos parâmetros e funções dos equipamentos PA (estação de engenharia como, por exemplo, PDM, ComuWinII, Pactware, etc.).

- Valores padrões de configuração/operação: que são exclusivamente acessadas para leitura e escrita, via serviços acíclicos. Existem parâmetros que têm obrigatoriedade de ser implementados e outros que são opcionais aos fabricantes.

- Parâmetros específicos dos fabricantes: que são exclusivos segundo a funcionalidade daquele fabricante de equipamento e que podem ser acessados aciclicamente, uma vez que também são definidos segundo os padrões de estruturas de dados do profile.

Atualmente, o PROFIBUS-PA está definido segundo o PROFILE 3.0 (desde 1999), onde se têm informações para vários tipos de equipamentos, como transmissores de pressão, de temperatura, posicionadores de válvula, etc.

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

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

- Blocos Funcionais de entrada e saída analógicas: estes blocos descrevem funcionalidades durante a operação, tais como: troca de dados cíclicos de entrada/saída, condições de alarmes, limites, etc.
- Bloco Físico (*Physical Block*): que traz informações de identificação do equipamento, pertinentes ao hardware e software.
- Blocos Transdutores (*Transducer Blocks*): que fazem o acondicionamento de informações dos sensores que serão utilizadas pelos blocos funcionais, e que também recebem informações destes para dispararem atuações em elementos finais de controle. 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), e um equipamento de saída (um posicionador de válvula, 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 (por exemplo, posicionando uma válvula).

Existem alguns equipamentos que possuem vários blocos AIs e AOs e são chamados de equipamentos multicanais, onde se deve ter 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. Neste tipo de classe, o equipamento está limitado ao básico necessário para operação: variável do processo (valor e status), unidade e *tag*.
- Equipamento Classe B: possuem funções estendidas de informações dos blocos físico, transdutor e de funções.

Uma característica poderosa suportada pelo *PROFILE 3.0* é a definição de cada equipamento segundo os arquivos GSD. Esses arquivos garantem que qualquer sistema PROFIBUS possa integrar o equipamento, independente de suas características. Com isso, cada fabricante pode desenvolver suas particularidades em forma de blocos funcionais, indo além do que está definido no *profile*. Isto agrega valor aos equipamentos e torna possível a competição no 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 dessas interfaces, o usuário ganha versatilidade e flexibilidade de configuração, parametrização, calibração e principalmente mecanismos de *download* e *upload* durante a fase de planejamento e comissionamento dos projetos.

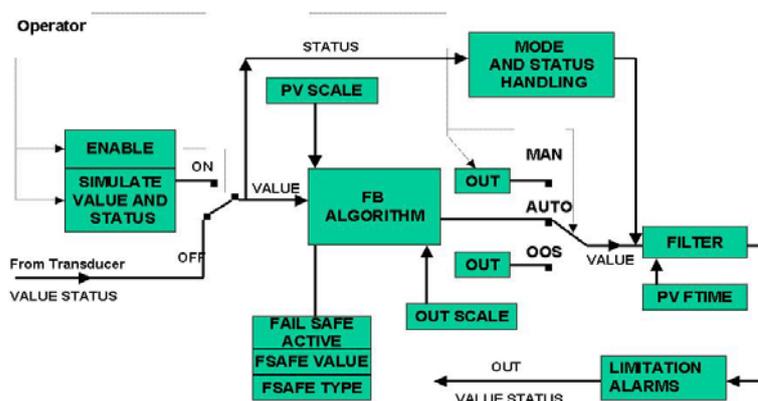


Figura 18 – Bloco de Entrada Analógica AI.

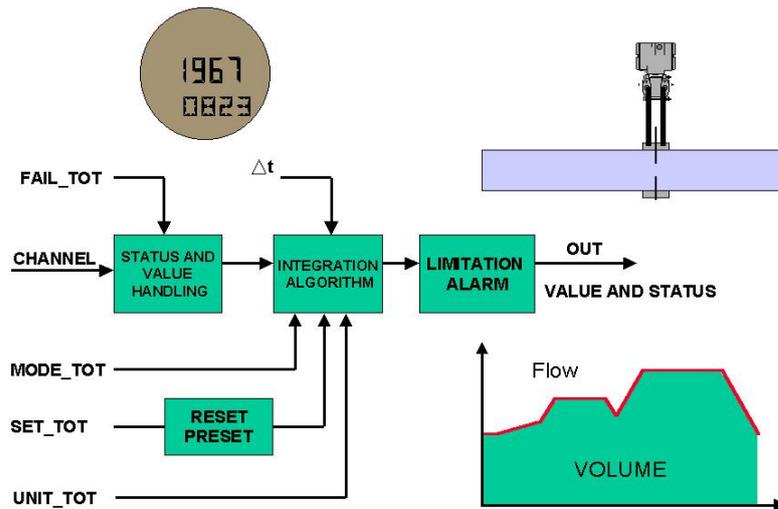


Figura 19 – Bloco de Totalização TOT.

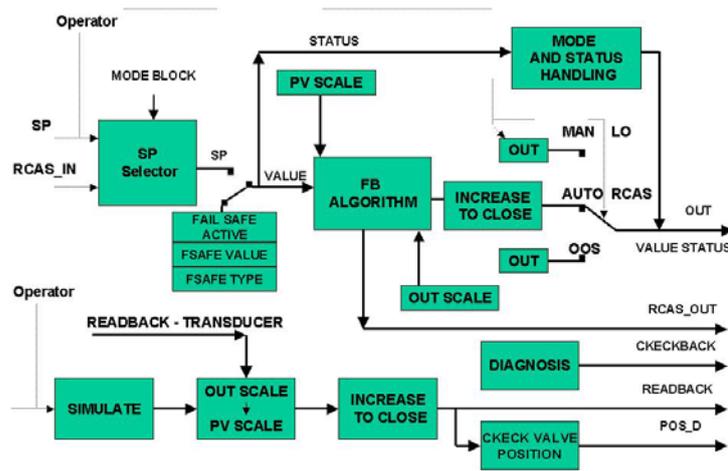


Figura 20 – Bloco de Saída Analógica AO.

O PROFILE DE SEGURANÇA: PROFISAFE

A demanda por mais recursos no setor de automação e controle de processos, através do advento da tecnologia digital e com a rápida expansão do *Fieldbus*, favoreceu o desenvolvimento da tecnologia dedicada ao diagnóstico e tratamento de falhas seguras. Principalmente, voltada à proteção de pessoas, de equipamentos/máquinas e do ambiente, visando sempre o sistema seguro ideal.

Esse sistema seguro requer, em outras palavras, que os dados e informações possam ser validados em relação aos seus valores e ao domínio do tempo, o que deve ser aplicável no sistema como um todo. Isto implica em garantir que o dado recebido foi enviado corretamente e que quem o enviou também é o transmissor correto. Além disso, que essa seja a informação esperada, em determinado instante e que a informação que foi recebida esteja seqüencialmente correta, etc.

Atualmente, o exemplo mais típico de padrão de segurança internacional e que envolve a maior parte dos desenvolvedores e implementadores de sistemas com segurança é o chamado IEC 61508. Esse padrão mostra as atividades envolvidas em todo ciclo de vida de sistemas eletrônicos programáveis em relação à segurança. Portanto, trata tanto de requisitos de hardware quanto de software.

O perigo de acidentes em processos industriais é vasto e a probabilidade de acontecer um acidente é dependente das probabilidades de falhas do sistema. A implicação de falhas depende do tipo e requisitos de segurança da aplicação.

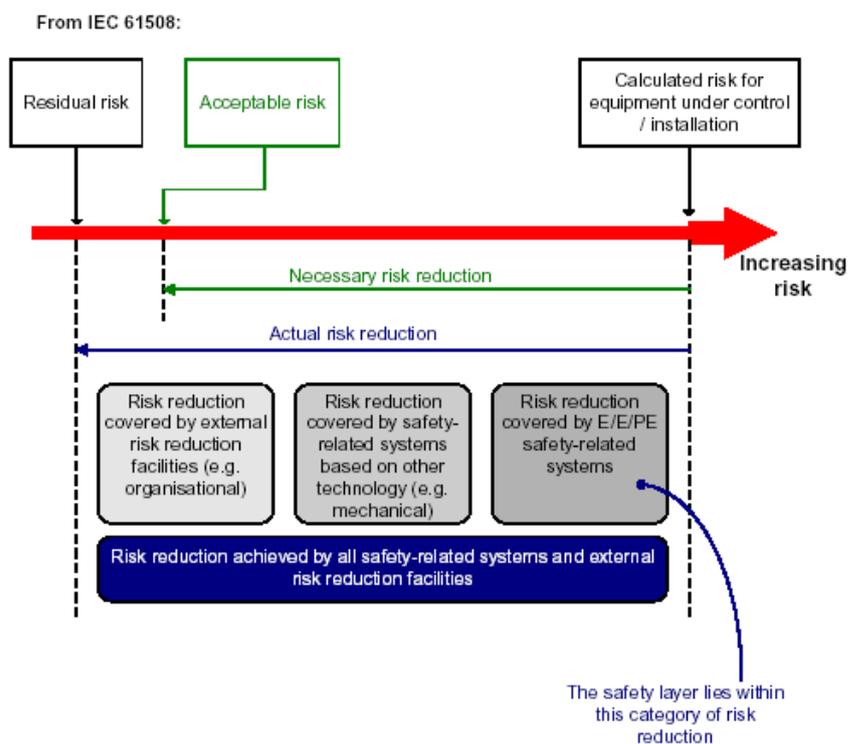


Figura 21- Considerações de risco de acordo com a IEC 61508.

O perfil de aplicação PROFIBUS “PROFIsafe” - Perfil para Tecnologia Segura descreve mecanismos de comunicação segura entre periféricos sujeitos à falha-segura (*Fail-Safe*) e controladores seguros. É baseado nos requisitos dos padrões e diretivas para aplicações com segurança orientada, como a IEC 61508 e EN954-1, bem como na experiência dos fabricantes de equipamentos com *Fail-Safe* e na comunidade de fabricantes de CLPs.

São apresentados a seguir, de forma resumida, seus principais conceitos.

Este perfil suporta aplicações seguras em uma extensa área de aplicações em campo. E, ao invés de utilizar barramentos especiais para as funções de segurança, permite a implementação da automação segura através de uma solução aberta e no padrão PROFIBUS, garantindo os custos efetivos de cabeamento, consistência do sistema em relação à parametrização e funções remotas de diagnóstico. Garante a segurança em sistemas de controle descentralizados através da comunicação *Fail-Safe* e dos mecanismos de segurança dos dispositivos e equipamentos.

Veja a seguir alguns exemplos de áreas de aplicação deste perfil de segurança:

- Indústria de Manufatura.
- Proteção rápida de pessoas, máquinas e ambiente.
- Funções de paradas de emergência.
- Barreiras de luz.
- Controle de entrada.
- *Scanners*.

- *Drivers* com segurança integrada.
- Controle de processos em geral.
- Áreas química e petroquímica.
- Transporte público.
- Outras.

A tecnologia aberta PROFIBUS atende a uma série de requisitos, das mais variadas aplicações em termos de segurança de acordo com o PROFIsafe:

- Independência entre comunicação relevantemente segura e a comunicação segura.
- Aplicável a níveis SIL3 (IEC61508), AK6 (DIN V 19250) e categoria de controle 4 (KAT4) (EN 954-1).
- A redundância é usada somente para aumentar a confiabilidade.
- Qualquer *master* ou *link* DP pode ser usado.
- Na implementação, *masters* DP, ASICs, *links* e *couplers* não devem sofrer modificações, desde que as funções de segurança sejam implementadas acima da camada OSI *layer 7* (isto é, nenhuma mudança ou acomodações no protocolo DP).
- A implementação das funções de transmissão segura devem ser restritas à comunicação entre os equipamentos e não deve restringir o número dos mesmos.
- É sempre uma relação de comunicação 1:1 entre os dispositivos F.
- Os tempos de transmissões devem ser monitorados.

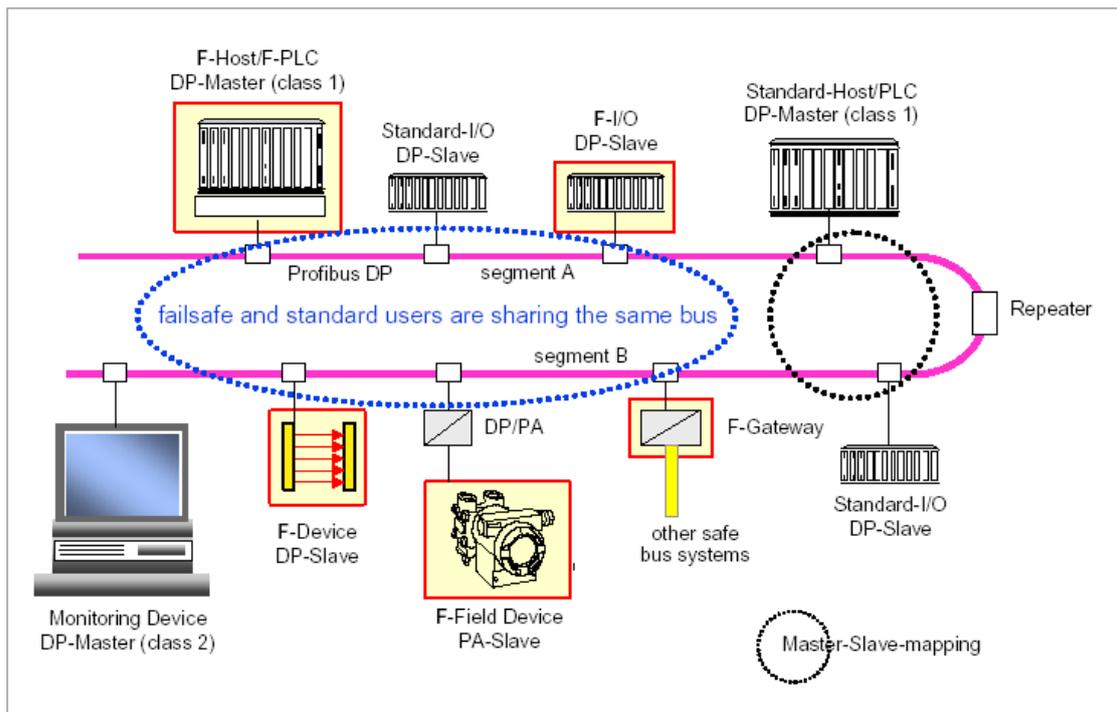


Figura 22 – Sistema típico onde se tem a comunicação padrão e segura compartilhando o mesmo barramento e protocolo.

Na prática, aplicações seguras e padrões compartilharão os sistemas de comunicação PROFIBUS DP simultaneamente. As funções de transmissões seguras incluem todas as medidas que podem estar deterministicamente descobertas, em possíveis falhas perigosas. Estas podem ser adicionadas ao sistema de transmissão padrão, com a intenção de minimizar seus efeitos. Incluem-se, por exemplo, as funções de mal funcionamento randômico, efeitos de EMI, falhas sistemáticas de hardware ou software, etc.

Por exemplo, é possível que durante uma comunicação se perca parte de um *frame*, ou que parte do mesmo apareça repetida, ou ainda, que apareça em ordem errada ou mesmo em atraso.

No PROFIsafe toma-se algumas medidas preventivas, com o intuito de cercar as possíveis causas de falhas e, quando as mesmas ocorrerem, que aconteçam com segurança:

- Numeração consecutiva de todas as mensagens seguras: aqui se pretende minimizar a perda de comunicação, inserção de bytes no *frame* e seqüência incorreta.
- Sistema de *watchdog* timer para as mensagens e seus reconhecimentos: controlando os atrasos.
- Uma senha (*password*) entre emissor e receptor: evitando *linking* entre as mensagens padrão e segura.
- Proteção adicional do telegrama com a inclusão de 2 a 4 bytes de CRC: evitando a corrupção dos dados de usuário e *linking* entre as mensagens padrão e segura.

Estas medidas devem ser analisadas e tomadas em uma unidade de dado *Fail-Safe*. Veja a seguir, o modelo de mensagem F.

O PROFIsafe é uma solução em software, com canal único, que é implementada como uma camada adicional acima do *layer 7* nos dispositivos. Um *layer* seguro define métodos para aumentar a probabilidade de se detectar erros que possam ocorrer entre dois equipamentos/dispositivos que se comunicam em um *fieldbus*.

A grande vantagem é que pode ser implementada sem mudanças, proporcionando proteção aos investimentos dos usuários.

Utiliza-se os mecanismos da comunicação cíclica nos meio físicos 485 ou H1 (31.25kbits/s). A comunicação acíclica é utilizada para níveis irrelevantes de segurança de dados. Garante tempos muito curtos de respostas, ideal em manufaturas e operação intrínseca segura, de acordo com as exigências da área de controle de processos. A figura 23 mostra a arquitetura do PROFIsafe.

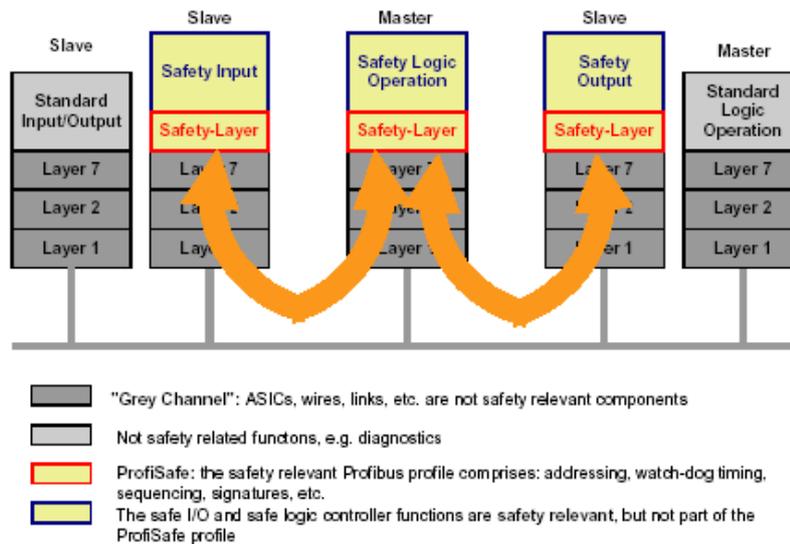


Figura 23 – A arquitetura do PROFIsafe.

A figura 24 mostra o modelo da estrutura de mensagem na transmissão. O perfil seguro (*F-Profile*) é embutido no protocolo de transmissão DP (*layer 7*) e na codificação (*layer 2*).

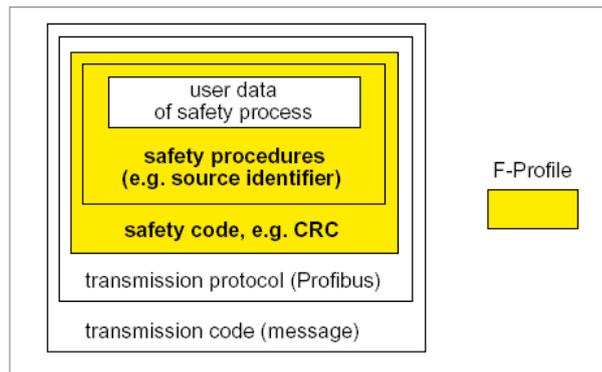


Figura 24 – Modelo para dados seguros

O PROFIsafe utiliza o mecanismo de detecção de erros para manter os níveis desejáveis de segurança. É responsabilidade desse perfil detectar erros de comunicação como *frames* duplicados, perda de *frames*, seqüências incorretas de *frames*, *frames* corrompidos, atrasos nos *frames* e endereçamentos errados de *frames*. O perfil PROFIsafe utiliza a redundância da informação para validar a comunicação entre dois dispositivos. A informação de segurança relevante é transmitida em conjunto com os dados de processos, isto é, esses dados são embutidos no *frame* básico do PROFIBUS DP. Um *frame* desse tipo pode tratar no máximo 244 bytes de dados de processo. O PROFIsafe reserva 128 bytes desse total para os dados de segurança. Além destes, 4 ou 6 bytes são tratados à parte como bytes de status e controle, dependendo da quantidade de dados seguros transmitidos. Sempre dois bytes de controles são enviados em cada *frame*, um de status e outro com a seqüência dos *frames*. Os quatro bytes restantes são reservados para o *checksum* que é gerado para proteger a informação de segurança redundante. Uma pequena quantidade de dados de segurança relevante transmitida implica em um CRC de 16 bits e em 4 bytes de controle. Para transmissões com mais de 12 bytes de dados seguros (até 122), um CRC de 32 bits é usado e 6 bytes de controle são necessários.

A figura 25 mostra o modelo de *frame* DP que contém em sua informação os já conhecidos bytes desse *frame*, mais os dados de *Fail-safe* (no máximo 128 bytes em 244 bytes, devido à limitação de 64 *words* na troca de dados de uma só vez, entre o *Host* e o mestre DP), assim como os recursos de segurança de paridade e FCS (*Frame Checking Sequence*).

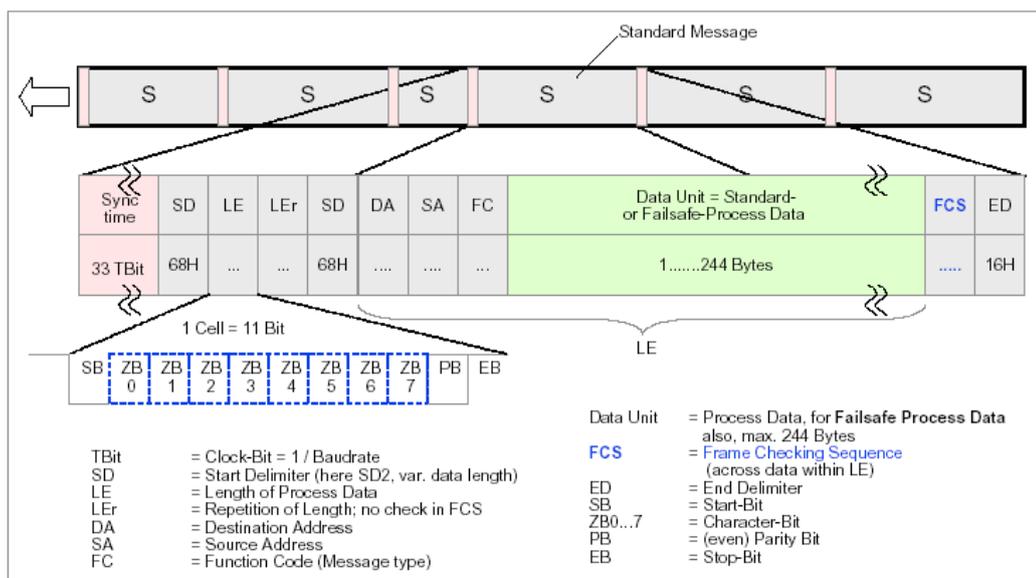


Figura 25 – Modelo do frame do DP.

A figura 26 mostra o modelo de mensagem F (mensagem segura), onde podem ver vistos os bytes de controle de integridade e minimização de erros descritos anteriormente como medidas preventivas.

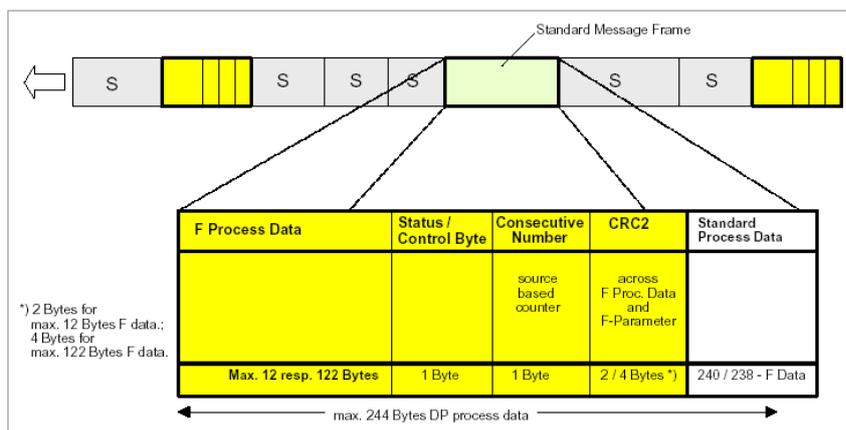


Figura 26 – Modelo da mensagem F.

A figura 27 mostra detalhes do tratamento da falha segura, comunicação, *timerouts*, CRCs, numeração das mensagens, etc.

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
tbd	res	res	Failsafe values (FV) activated	Communication failure: WD-timeout	Communication failure: CRC or consecutive number	Failure exists in F slave or F module	F slave has new i-parameter values assigned

do

Figura 27 – Modelo status/control byte.

Através da monitoração e controle de informações entre mestres e escravos seguros, tais como: sincronização, ciclo de protocolo F, *watchdog timers*, ordem das mensagens, repetições do *frame*, monitor SIL (contador de mensagens corrompidas em um período de tempo), pode-se garantir a segurança aos níveis de integridade:

SIL	CRC	Length of process data	Time period (h)
3	16 Bit	< 16 Bytes	10
2	16 Bit	< 16 Bytes	1
3	32 Bit	< 128 Bytes	0.1
2	32 Bit	< 128 Bytes	0.01

Figura 28 – SIL monitor.

ARQUIVOS GSD & PROFIsafe

Equipamentos suportando as características PROFIsafe têm a inclusão em seu arquivo GSD da seguinte palavra-chave:

`F_Device_supp = 1; 1 = F-device`

CONCLUSÃO

Através deste artigo pode-se ver alguns detalhes sobre o protocolo PROFIBUS, sua abrangência em recursividade e seus benefícios à automação e controle de processos contínuos e discretos. Sua potencialidade é marcante em nível mundial, tanto em aplicações quanto em gerenciamento de divulgação e suporte com as Associações Regionais e Centro de Competências. Outro detalhe é a preocupação das empresas em continuar a oferecer produtos de acordo com a demanda de mercado e garantir investimentos futuros com total interoperabilidade e intercambiabilidade.

BIBLIOGRAFIA

- Descrição Técnica PROFIBUS.
- PROFIBUS GuideLine
- PROFIBUS-DP/PA - ProfiSafe, Profile for Failsafe Technology.
- IEC 61508 – Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems.
 - Manuais PROFIBUS PA - Smar.
 - Material de treinamento Smar Profibus, 2003, César Cassiolato.
 - www.smar.com.br