Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia Elétrica

Trabalho de Conclusão de Curso

Elaboração de Procedimentos de Certificação de Dispositivos Escravos PROFIBUS DP e Inspeção de Redes PROFIBUS

Autor:
Carlos Henrique Juliano

Número USP:
5656088

Orientador:
Prof. Dr. Dennis Brandão

São Carlos, Dezembro de 2010.

Carlos Henrique Juliano

ELABORAÇÃO DE PROCEDIMENTOS DE CERTIFICAÇÃO DE DISPOSITIVOS ESCRAVOS PROFIBUS DP E INSPEÇÃO DE REDES PROFIBUS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação

ORIENTADOR: Prof. Dr. Dennis Brandão

São Carlos

2010

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

Juliano, Carlos Henrique

B94e Elaboração de procedimentos de certificação de dispositivos escravos Profibus DP e inspeção de redes Profibus / Carlos Henrique Juliano ; orientador Dennis Brandão –- São Carlos, 2010.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2010.

1. Testes. 2. Certificação. 3. Escravos. 4. Profibus. 5. Automação industrial I. Titulo.

Dedicatória

Aos meus pais, Lineu e Ivani, e a toda
minha família, com amor e gratidão.

Agradecimentos

- Ao professor Dennis Brandão, pelo apoio e orientação.
- A Vanessa, por todo amor e paciência.
- Ao Guilherme por todo auxílio.
- A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica que contribuíram para minha formação acadêmica.
- Ao Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) – Universidade de São Paulo.
- Ao Laboratório de Automação Industrial (LAI) e Centro de Competência PROFIBUS, pelo fornecimento de equipamentos e condições para o desenvolvimento desse trabalho.
- A Deus, por toda a minha vida, família e amigos.

Índice

Dedicatória i
Agradecimentos iii
Índice v
Índice de Figuras vii
Índice de Tabelas xi
Lista de Siglas e Abreviaturas xiii
Resumo xv
Abstract xvii
Capítulo 1 1
Introdução 1
1.1) Organização do Trabalho 3
Capítulo 2 5
Testes Para Certificação de Escravos 5
2.1) Teste de Hardware 5
2.1.1) Terminação de Linha 5
2.1.2) Compatibilidade da Interface de Comunicação 6
2.1.3) Circuito para RS-485 10
2.1.4) Impedância e Reflexão 13
2.2) Teste de Funcionalidade e Transmissão 15
2.2.1) Verificação do *Time Station Delay of Responder* (TSDR) 15
2.2.2) Endereços 18
2.2.3) Número de Identificação 19
2.2.4) Velocidades de Transmissão 21
2.2.5) Operação em Redes Mistas 23
2.2.6) Verificação do arquivo GSD 25
2.2.7) Formato de Dados 29
2.3) Teste de Função 32
2.3.1) Desconexão de cabo de rede no escravo em teste 32
2.3.2) Ligação da Alimentação de Tensão 34
2.3.3) Desligamento e Ligação da Tensão de Alimentação no Mestre 36
2.3.4) Recursos Opcionais 38
2.3.5) Diagnósticos 43
2.3.6) Teste de Dispositivos Modulares 47
2.4) Interoperabilidade 50

2.4.1) Teste de Carregamento 50
2.5) Testes não Realizados 52

Capítulo 3 55
Inspeção de Redes PROFIBUS 55

3.1) Análise Física 55

3.1.1) Cabos 55
3.1.2) Terminadores de Linha 57
3.1.3) Conectores 57
3.1.4) Conectores Híbridos 59
3.1.5) Conexões Diretas com Estações 60
3.1.6) Cabos Flexíveis 61
3.1.7) Cabos de Fibra Óptica 61
3.1.8) Conectores de Fibra Óptica 62
3.1.9) Cabos de Fibra Óptica Plástica 63
3.1.10) Cabos de Fibra Óptica de Vidro 63
3.1.11) Aterramento e Ligação Equipotencial 64
3.1.12) Terra de Proteção 64
3.1.13) Terra Funcional 64
3.1.14) Ligação Equipotencial 65
3.1.15) Validação da Instalação Física 65
3.2) Análise de Protocolo 67

3.2.1) Velocidade de Transmissão de Dados 67
3.2.2) Endereçamento 68
3.2.3) Entradas e Saídas 68
3.2.4) Perfil da Troca de Dados Entre os Dispositivos 69
3.2.5) Exemplo Prático de Análise de Protocolo 69
3.3) Análise de Sinal 72

3.3.1) Medições para PROFIBUS RS-485 72
3.3.2) Lista de Verificação para PROFIBUS RS-485 76
3.3.3) Medições para PROFIBUS PA 77
3.3.4) Lista de Verificação para PROFIBUS PA 78
3.3.5) Medições para Instalações com Fibra Óptica 79
3.3.6) Análise de Sinal Através de Equipamento Dedicado 80

Capítulo 4 83
Conclusões 83

Referências Bibliográficas 85

Índice de Figuras

Figura 1 – Estrutura de um terminador de linha..... 6

Figura 2 – Conector tipo D-SUB de 9 pinos..... 7

Figura 3 – Conector tipo M-12 Fêmea..... 8

Figura 4 - Conector tipo M-12 Macho 8

Figura 5 – Ligação do Conector D-SUB. 9

Figura 6 – Sinais opcionais no GSD..... 9

Figura 7 – Tensão diferencial 11

Figura 8 – Tensão entre a Linha de dados *A* e o terra digital 12

Figura 9 – Tensão entre a Linha de dados *B* e o terra digital 12

Figura 10 – Pulso de onda e reflexão..... 13

Figura 11 – Rede para teste de impedância e reflexão 14

Figura 12 – Resposta ao impulso..... 14

Figura 13 – Pulso de subida..... 15

Figura 14 - Dados provenientes do analisador de protocolo..... 17

Figura 15 – Endereçamento e inicialização 19

Figura 16 – Representação do *Ident Number* no arquivo GSD..... 20

Figura 17 **–** Número de identificação do escravo no telegrama de diagnóstico 21

Figura 18 – Velocidades de comunicação representadas no arquivo GSD 22

Figura 19 – Comunicação entre mestre e escravo para velocidade de 1,5 MBit/s..... 23

Figura 20 – Rede com dispositivos mistos 24

Figura 21 – Análise da comunicação em rede mista 25

Figura 22 – GSD Editor 27

Figura 23 – Exemplo parcial de arquivo GSD..... 28

Figura 24 – Dados de diagnóstico de erros 31

Figura 25 – Perda da comunicação entre o escravo e o mestre..... 33

Figura 26 – Comunicação retomada com o mestre 34

Figura 27 – Dados anteriores à inicialização do escravo..... 35

Figura 28 – Dados de inicialização do escravo 36
Figura 29 – Desligamento do mestre 37
Figura 30 – Religamento do mestre 38
Figura 31 – Funções *Sync*, *Freeze* e *Fail Safe* no arquivo GSD 39
Figura 32 – Campo de dados do telegrama de *Global Control* 40
Figura 33 – *Bytes* iniciais do campo de dados do telegrama de diagnóstico 41
Figura 34 – Telegrama de *Freeze* 42
Figura 35 – Telegrama de *Unfreeze* 42
Figura 36 – Área de dados (PDU) do telegrama de diagnóstico 44
Figura 37 – Dados de inicialização do escravo na rede 45
Figura 38 – Módulos do escravo no programa configurador 47
Figura 39 – Segmento do arquivo GSD do escravo 48
Figura 40 – Troca de dados com número mínimo de módulos 49
Figura 41– Troca de dados com número máximo de módulos (1). 49
Figura 42 – Troca de dados com número aleatório de módulos (2). 50
Figura 43 – Troca de dados à taxa de transmissão máxima aceita pelo escravo 51
Figura 44 – Conector D-SUB de nove pinos 57
Figura 45 – Conectores tipo M-12 58
Figura 46 – Conector tipo Híbrido 60
Figura 47 – Instalação de ponteiras de cobre para cabos flexíveis 61
Figura 48 – Conector tipo BFOC/2.5 62
Figura 49 – Cabo de fibra óptica plástica 63
Figura 50 – Cabo de fibra óptica de vidro 64
Figura 51 – *Live list* 69
Figura 52 – Informações sobre a rede 70
Figura 53 – Telegramas de Erros 70
Figura 54 – Informações sobre o escravo 71
Figura 55 – Telegramas de comunicação 72
Figura 56 – Sinais Ideais para PROFIBUS RS-485 74

Figura 57 – Formato de onda para cabo muito longo 75

Figura 58 – Conectores não ligados a estações na rede (sinal) 75

Figura 59 – Sinal de dados ideal para rede *PA* 78

Figura 60 – Reflexão de onda em instalação com fibra óptica..... 79

Figura 61 – Análise de sinal a partir do *PB-t3*..... 80

Figura 62 – Análise de amplitude e forma de onda de sinal a partir do *PB-t3*..... 81

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Valor da resistência de terminação de linha para PROFIBUS DP..... 6

Tabela 2 – Ligação para os conectores D-SUB..... 7

Tabela 3 – Sinais para conectores M-12 PROFIBUS DP 8

Tabela 4 – Tamanhos de segmentos para cada taxa de comunicação 10

Tabela 5 – Tempo de envio de cada bit por taxa de transmissão..... 16

Tabela 6 – Valores máximos para o TSDR do escravo em teste..... 16

Tabela 7 – Resultados para o TSDR..... 17

Tabela 8 – Extensão dos arquivos GSD para diferentes Línguas..... 26

Tabela 9 – Caractere de comunicação para PROFIBUS DP 29

Tabela 10 – Detalhamento dos *bytes* do telegrama PROFIBUS..... 30

Tabela 11 – Estrutura do telegrama de diagnóstico (escravo)..... 43

Tabela 12 – Estrutura do telegrama de diagnóstico (mestre). 43

Tabela 13 – Telegrama de diagnóstico (1). 45

Tabela 14 – Telegrama de diagnóstico (2). 46

Tabela 15 – Telegrama de diagnóstico (3). 46

Tabela 16 – Telegrama de diagnóstico (4) 46

Tabela 17 – Testes não realizados..... 52

Tabela 18 – Instalação de cabos. PROFIBUS junto de outros cabos 56

Tabela 19 – Funções dos pinos para conector tipo M-12 de 5 pinos 58

Tabela 20 – Funções dos pinos para conector tipo M-12 de 4 pinos 59

Tabela 21 – Esquema de pinos para conector Híbrido 60

Tabela 22 – Tipos de fibra óptica e seus usos..... 61

Tabela 23 – Secção transversal mínima..... 65

Tabela 24 – Exemplo de lista de procedimentos para avaliação visual da rede 66

Tabela 25 – Lista de procedimentos para verificação física de rede RS-485..... 76

Tabela 26 – Lista de procedimentos para verificação de rede PROFIBUS PA 78

Tabela 27 – Atenuações típicas para fibras ópticas..... 79

Lista de Siglas e Abreviaturas

ASCII – *American Standard Code for Information Interconnection*

ASIC - *Application Specific Integrated Circuit*

CLP – Controlador Lógico Programável

DGND – *Data Ground*

DP – *Decentralized Periphery*

DSAP – *Destination Service Access Point*

FMS – *Field Message Specification*

FDL – *Fieldbus Data Link*

GSD – *Generic Station Description*

LSB – *Least Significant Bit*

MPB - *Manchester Code Bus Powered*

MSB – *Most Significant Bit*

NRZ – *Non Return to Zero*

OSI – *Open System Interconnection*

OTDR - *Optical Time Domain Reflectometer*

PA – *Process Automation*

PDU – *Protocol Data Unit*

SAP – *Service Access Point*

SDN – *Send and Request Data with no Acknowledge*

SRD – *Send and Request Data with Acknowledge*

SSAP – *Source Service Access Point*

TSDR – *Time Station Delay of Responder*

Vcc – Tensão em corrente contínua

Resumo

JULIANO, C. H. *Elaboração de Procedimentos de Certificação de Dispositivos Escravos PROFIBUS DP e Inspeção de Redes PROFIBUS.* 2010. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

O presente trabalho propõe métodos para a realização de alguns dos testes de certificação para dispositivos escravos PROFIBUS DP e inspeção de redes de automação industrial PROFIBUS baseando-se em normas internacionais e ferramentas de diagnóstico. A partir disso, são citados e exemplificados os testes de certificação divididos em hardware, funcionalidade e transmissão de dados, função e interoperabilidade. Nos testes de hardware são avaliados a terminação de linha, a compatibilidade da interface de comunicação, o circuito para RS-485 e a impedância e reflexão de sinal. Na parte que diz respeito à funcionalidade e transmissão de dados, por sua vez, são analisados o TSDR (*Time Station Delay of Responder)*, endereçamento, número de identificação, velocidades de transmissão, operação em redes mistas, arquivo GSD (*Generic Station Description*) e formato de dados. Com relação ao teste de função, ainda, são feitas observações relacionadas ao comportamento do escravo em situações de desconexão de cabo, cortes e ligamentos da tensão de alimentação, alguns recursos opcionais, mensagens de diagnóstico e teste de módulos. Por fim, e não menos importante, tem-se no teste de interoperabilidade a análise do escravo com relação à troca de dados em taxas máximas de transmissão. Os resultados obtidos nessa parte, em cada teste, para o escravo utilizado, ficaram dentro das exigências normativas. Na segunda parte do trabalho, por sua vez, são demonstradas práticas voltadas à inspeção de redes PROFIBUS relacionadas basicamente à verificação física, de protocolo e de sinal com listas de validação e exemplificações.

Palavras-chaves: Testes; Certificação; Escravos; PROFIBUS; Automação industrial.

Abstract

JULIANO, C.H. (2010). *Elaboration of Certification Tests Procedures of Slaves PROFIBUS DP Devices and Inspection of PROFIBUS Networks*. Course Conclusion Work – Engineering School of São Carlos, University of São Paulo.

This paper proposes methods for performing some of the certification tests for PROFIBUS DP slave devices and inspection of PROFIBUS industrial automation's networks based on international standards and diagnostic tools. In order to this, the certification tests are mentioned and exemplified divided into hardware, functionality and data transmission, function and interoperability. In the hardware tests are evaluated line terminators, the compatibility of the communication interface, the RS-485 circuit and the impedance and signal reflection. In the part that concerns the functionality and data transmission, it is done the analysis of TSDR (Time Station Delay of Responder), address, identification number, transmission rates, operation in mixed networks, GSD (Generic Station Description) file and data format. Regarding to the function test, inspections are made relating to the behavior of the slave in case of disconnection of bus cables, cuts and ligaments of the supply voltage, some optional features, diagnostic messages and test of modules. Last but not least, there is the interoperability test which analyzes the slave data exchange at maximal rates of transmission. The results in each test, for the slave used, fell within the regulatory requirements. In the second part of this paper, in turn, practices for inspection of PROFIBUS networks are demonstrated basically relating to physical structure, protocol and signal verifications. Validation lists and examples are showed.

Keywords: Tests; Certification; Slaves; PROFIBUS; Industrial automation.

Capítulo 1

Introdução

O *Process Field Bus* (PROFIBUS) apresenta-se como um padrão de rede de campo aberto com independência de fabricantes. Garantido segundo as normas internacionais EN 50170 e EN 50254, permite ampla aplicação em automação industrial de processos, manufatura e predial. Estabelecido ao lado de mais sete outros *Fieldbuses* pela IEC 61158 e com especificações que seguem o modelo *Open System Interconection* (OSI) possui desenvolvimentos que proporcionam redução de custos, flexibilidade e interoperabilidade sendo que atualmente estima-se mais de 31 milhões de nós instalados ao redor do mundo com mais de 2800 produtos e em torno de 1300 associados [1].

Este protocolo de comunicação, por sua vez, está dividido, essencialmente, em três vertentes distintas. A primeira delas e a mais utilizada é a versão de periferia descentralizada (DP) sendo de custo relativamente baixo e com comunicação de alta velocidade. Voltada para sistemas de controle com entradas e saídas discretas, é utilizada, principalmente em substituição aos sistemas convencionais de *4-20mA*, *Hart* ou transmissões em 24V. Utiliza o meio físico RS-485 ou fibra óptica e necessita de menos de 2ms para transmissão de 1 kbyte, sendo própria para aplicações com criticidade no tempo de transmissão com velocidades que vão desde 9,6 kbits/s até 12000 kbits/s [1]. Essa versão, por sua vez, possui ainda três versões próprias, DP-V0, DP-V1 e DP-V2, com características evolutivas agregadas.

A outra versão do PROFIBUS, a qual busca atender os requisitos da automação de processo é a *Process Automation* (PA), tendo-se a conexão do sistema de controle com equipamentos de campo como transmissores de pressão e temperatura, conversores e posicionadores, por exemplo, podendo ser utilizada, também, como substituição ao padrão *4-20mA* [1]. Trabalhando a partir de uma linha a dois fios simples, permite, além da transmissão de dados, alimentar os equipamentos de campo em áreas de segurança intrínseca e a comunicação com a rede DP pode ser feita por meio de um acoplador DP-PA. Para essa vertente, por sua vez, a tecnologia de transmissão utilizada é do tipo síncrona

com codificação Manchester em 31,25 kbits/s, definida de acordo com a norma IEC 61158-2, elaborada para satisfazer as exigências de indústrias químicas e petroquímicas [1].

A outra versão do protocolo existente é a *Field Message Specification* (FMS). Esta provê uma ampla seleção de funções sendo apropriada para a resolução de tarefas complexas de comunicação entre estações de controle com suporte a troca de dados entre equipamentos inteligentes, porém, pelo fato de ter como função primária a comunicação mestre-mestre vem sendo substituída pela Ethernet [1].

O sistema de comunicação para essa tecnologia é desenvolvido baseando-se nas camadas de comunicação de níveis 1 e 2 para DP e PA, mais a 7 para FMS, do modelo OSI. A partir disso, o nível 1 define o meio físico enquanto o 2 estipula o protocolo de acesso ao barramento e o 7 impõe as funções de aplicação. Dessa forma, a eficiência da comunicação é determinada pelas funções do nível 2 sob uma estrutura a qual garante que cada estação envolvida na troca de dados cíclicos possua tempo suficiente para executar suas tarefas baseadas em subconjuntos de serviços diferentes numa rede de até 125 escravos [1].

Os dispositivos existentes para o PROFIBUS são de três tipos, ou seja, mestre classe um, mestre classe dois e escravo. O primeiro, em decorrência, é um controlador principal o qual troca dados ciclicamente com os escravos. Exemplo deste, pode ser um controlador lógico programável. Já o mestre classe dois, apresenta-se como estações de engenharia utilizadas para configuração, monitoração ou supervisão e, o escravo, é periférico e atende aos comandos do mestre quando chamado, sendo de saída, entrada ou uma combinação de entradas e saídas. Para cada dispositivo, ainda, como forma de identificação e descrição funcional eletrônica, existe um arquivo de texto com detalhes de revisão, hardware, software, tempo de comunicação e troca de dados cíclicos usado na alocação e configuração do equipamento em uma rede, chamado de *Generic Station Description* (GSD) [1].

O desenvolvimento de equipamentos nessa tecnologia, por sua vez, é feito constantemente ao redor do mundo e para garantir a integridade, interoperabilidade, segurança e concordância com os padrões internacionais, cada equipamento deve passar por um processo de certificação feito por centros autorizados pela associação internacional PROFIBUS. Nesse processo de certificação, são testadas, de maneira sucinta, as características físicas, GSD, ferramentas de configuração, parâmetros de transmissão, comportamento na troca de dados e interoperabilidade, principalmente.

Além de equipamentos, é possível, também, inspecionar e até mesmo certificar as redes industriais PROFIBUS instaladas, a partir de corpos técnicos autorizados que fazem a verificação das instalações físicas, propriedades de sinal e análise de protocolo.

O intuito desse trabalho, por sua vez, é apresentar de maneira prática e explicativa parte dos testes necessários à certificação de equipamentos escravos DP e procedimentos para inspeção de redes PROFIBUS dando ênfase à capacidade do centro de competência PROFIBUS do Brasil, onde os testes foram desenvolvidos.

1.1) Organização do Trabalho

A organização deste trabalho está feita da seguinte forma:

- **Capítulo 2:** expõe alguns procedimentos para testes necessários à certificação de dispositivos escravos PROFIBUS DP.
- **Capítulo 3:** mostra procedimentos para inspeção e análise de redes industriais PROFIBUS.
- **Capítulo 4:** apresenta algumas conclusões provenientes do trabalho.

Capítulo 2

Testes Para Certificação de Escravos

Os testes necessários à certificação de escravos PROFIBUS DP, de acordo com [2], estão divididos basicamente em quatro partes definidas em teste de hardware, funcionalidade, função e interoperabilidade. Adiante estão demonstrados alguns dos principais, em cada parte.

2.1) Teste de Hardware

Nesta parte, inicialmente, quando o escravo é submetido ao teste, é necessária uma documentação que especifique claramente a interface de dados dando ênfase às ligações que vão do *Application Specific Integrated Circuit* (ASIC) PROFIBUS ou do controlador, até o conector da rede. A partir disso, são testadas algumas características físicas do circuito como terminação de rede, compatibilidade da interface de dados, circuito RS-485, Impedância e reflexões [2].

2.1.1) Terminação de Linha

O terminador de linha, para redes PROFIBUS DP, é um dispositivo formado por três resistores em série conectados nos fios de transmissão de dados da rede PROFIBUS, alimentação do dispositivo (VP) e seu terra de dados (DGND), como mostrado na Figura 1 (Fonte: [2]). Sua finalidade de uso está relacionada com a necessidade de se manter um nível bem definido da tensão diferencial da rede enquanto nenhuma estação está transmitindo tentando evitar os efeitos de reflexão de onda [3].

Cada estação determinada a terminar a linha deve disponibilizar no pino específico do conector a tensão VP com o valor de 5 Vcc [2]. Para esse valor de tensão, são especificadas as resistências de 220Ω entre os sinais de comunicação e 390Ω para os resistores de *pull up* e *pull down* [4].

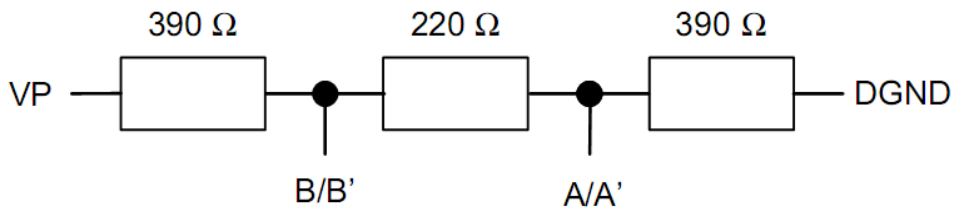


Figura 1 – Estrutura de um terminador de linha.

Segundo [2], dever ser feita a verificação do valor da resistência entre os terminais de comunicação da rede.

Como o escravo utilizado para o teste não possuia terminador de linha próprio e a rede necessita desse tipo de equipamento, foram utilizados conectores que os possuíam. Como exemplo ilustrativo de valores de resistência medidos nos terminadores entre os fios de comunicação, para dois fabricantes diferentes, pode-se observar a Tabela 1.

Tabela 1 – Valor da resistência de terminação de linha para PROFIBUS DP.

Tipo	Fabricante	Resistência [Ω]
D-SUB	Fabricante 1	221
D-SUB	Fabricante 2	221

2.1.2) Compatibilidade da Interface de Comunicação

Os tipos mais comuns de conectores utilizados por dispositivos PROFIBUS DP que possuem interface de comunicação RS-485 são o D-SUB de 9 pinos, mostrado na Figura 2, e o M-12, conforme visto nas Figuras 3 e 4. Para o teste em questão, os pinos devem corresponder em ordem com as Tabelas 2 e 3 mostradas adiante [3].

De acordo com [2] todo conector deve possuir os sinais de transmissão de dados (*RxD/TxD-P* e *RxD/TxD-N*) e se o dispositivo não possui um terminador de linha interno que pode ser ligado e desligado, deve prover também os sinais tensão de alimentação de saída e referência de potencial de terra ao conector.

Se o conector for diferente dos citados anteriormente e não está descrito nas normas e guias do protocolo, deve ainda, incluir dois pinos, ou seja, de 24V e DGND que também servem como alimentação para terminação ativa de linha sendo que essa modificação deve estar claramente explicita na documentação do dispositivo [2].

Quando sinais opcionais, como indicados na Tabela 2, estiverem sendo utilizados, devem estar de acordo com as especificações descritas e corretamente referenciadas no GSD [2]. As referências no GSD apresentam-se nos parâmetros *Repeater_Ctrl_Sig*, o qual identifica os sinais de controle de repetição e *24V_Pins* que trata dos sinais *M24V* e *P24V*, conforme mostrados na Tabela 2 a seguir.

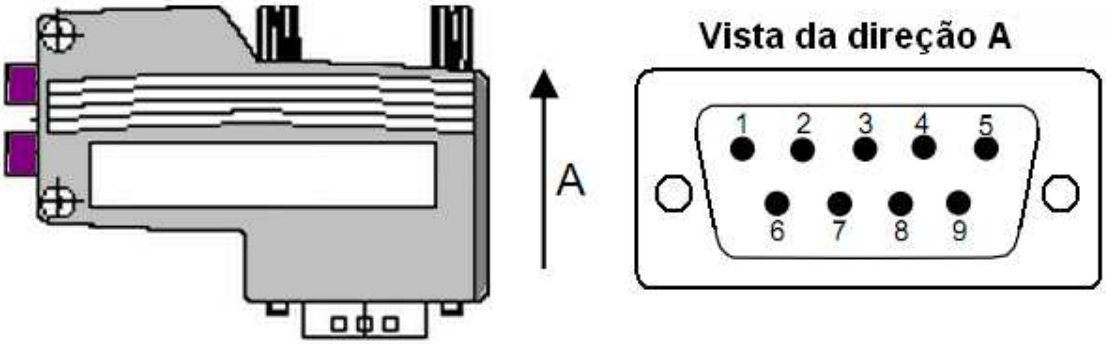


Figura 2 – Conector tipo D-SUB de 9 pinos.

Tabela 2 – Ligação para os conectores D-SUB.

Pino	RS-485	Sinal	Descrição
1		Blindagem*	Blindagem ou proteção de terra
2		M24*	Tensão de saída de 24V
3	B/B’	RxD/TxD – P	Transmissão e recebimento de dados - P
4		CNTR - P*	Controle de repetição - P
5	C/C’	DGND	Referência de tensão para troca de dados
6		VP	Tensão fonte de saída
7		P24V*	Tensão de *24V
8	A/A’	RxD/TxD – N	Transmissão e recebimento de dados - N
9		CNTR - N*	Controle de repetição - N

* Sinais opcionais. (Fonte: [2])

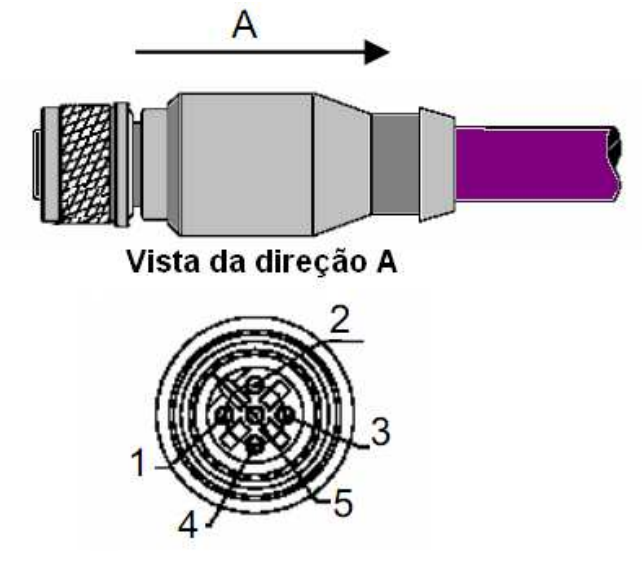


Figura 3 – Conector tipo M-12 Fêmea.

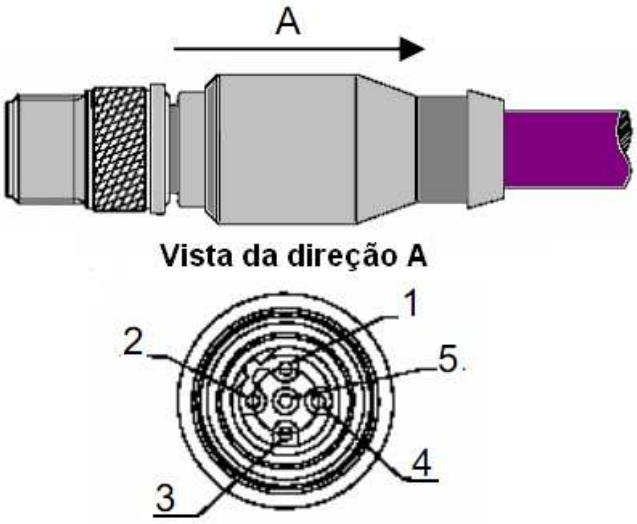


Figura 4 - Conector tipo M-12 Macho.

Tabela 3 – Sinais para conectores M-12 PROFIBUS DP.

Pinos	Sinal
1	Não conectado.
2	RxD/TxD – N (verde).
3	Não conectado.
4	RxD/TxD – P (vermelho.)
5	Não conectado

Conectores blindados e com rosca. (Fonte: [3])

O escravo usado para a ilustração desse teste, possui conector D-SUB de 9 pinos sendo que o esquema de ligação estrutural se assemelha ao demonstrado na Figura 5.

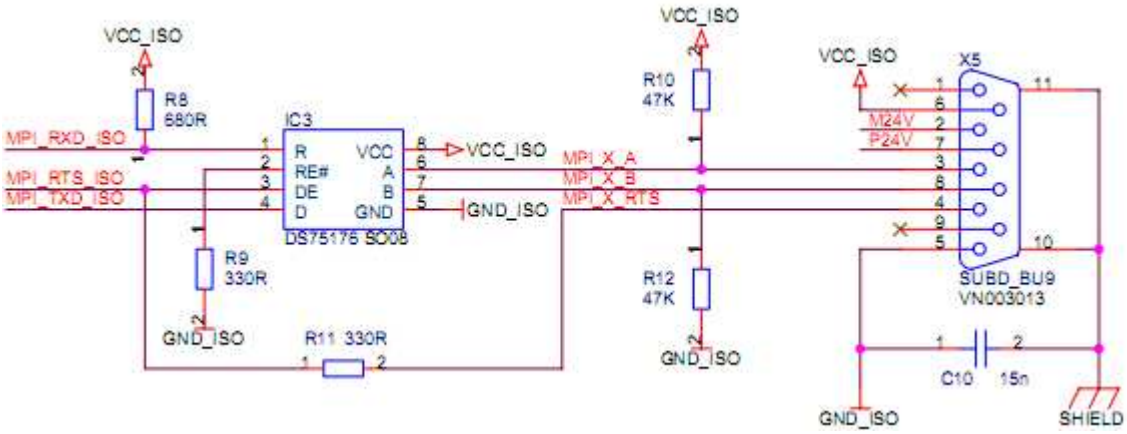


Figura 5 – Ligação ao conector D-SUB.

A partir da figura anterior é possível verificar algumas características como a correta ordenação dos sinais, a presença dos sinais de transmissão de dados, a ligação de tensão no pino 6 e DGND no pino 5, pela não presença de terminador de linha próprio no dispositivo. Além disso, verifica-se a utilização do sinal de CNTR-P no pino 4, o qual se apresenta especificado no GSD (*Repeater_Ctrl_Sig = 2*), mostrado na Figura 6, onde também se encontra a indicação da não utilização de terminação de linha ativa pelo parâmetro *24V_Pins* com o valor em zero. A partir disso o escravo está dentro dos padrões, segundo [2].

```
;===================================
;==== General DP Keywords =========
;===================================

GSD_Revision = 5
Vendor_Name = "profichip GmbH"
Model_Name = "DPV1AFFE"
Revision = "1.00"
Ident_Number = 0xAFFE
Protocol_Ident = 0
Station_Type = 0
FMS_supp = 0
Hardware_Release = "V1.00"
Software_Release = "V1.00"
Redundancy = 0
Repeater_Ctrl_Sig = 2
24V_Pins = 0
```

Figura 6 – Sinais opcionais no GSD..

2.1.3) Circuito para RS-485

Todo sistema de comunicação possui limitações físicas de transmissão de dados, relacionadas com o comprimento dos cabos de interconexão entre os equipamentos presentes em uma rede e a taxa de transmissão máxima correspondente. O sistema PROFIBUS, não fugindo a regra, possui suas limitações físicas, conforme a Tabela 4 [4].

Tabela 4 – Tamanhos de segmentos para cada taxa de comunicação.

Baudrate [kBit/s]	9,6	19,2	45,45	93,75	187,5	500	1500	3000	6000	12000
Segmento [m]	1200	1200	1200	1200	1000	400	200	100	100	100

(Fonte: [4])

O teste em questão, por sua vez, visa medir a qualidade do sinal de comunicação entre mestre e escravo nos limites de comprimento de cabo e velocidade de transmissão, ou seja, foi utilizado um comprimento de cabo de 100m e taxa de comunicação a 12000kbit/s aplicados a uma rede simples que contém apenas um mestre e um escravo.

Segundo [2], no entanto, nessas condições de rede, medindo-se a tensão diferencial entre as duas linhas de transmissão RS-485, deve-se encontrar um valor aceitável entre 4V e 7V. Além disso, a tensão de cada linha, *A* e *B*, deve ser medida em relação ao DGND e a soma das duas medições deve ser maior que 4V. Em contrapartida, a diferença dessas duas tensões medidas não pode ser maior que 0,5V.

As medições foram realizadas a partir de um osciloscópio digital para facilitar a demonstração gráfica dos dados, conforme será visto adiante.

Inicialmente, foi feita a medição diferencial de tensão. Conforme pode ser verificado pela Figura 7, o valor máximo medido foi em torno de 6,0V, o que está dentro das especificações apresentadas.

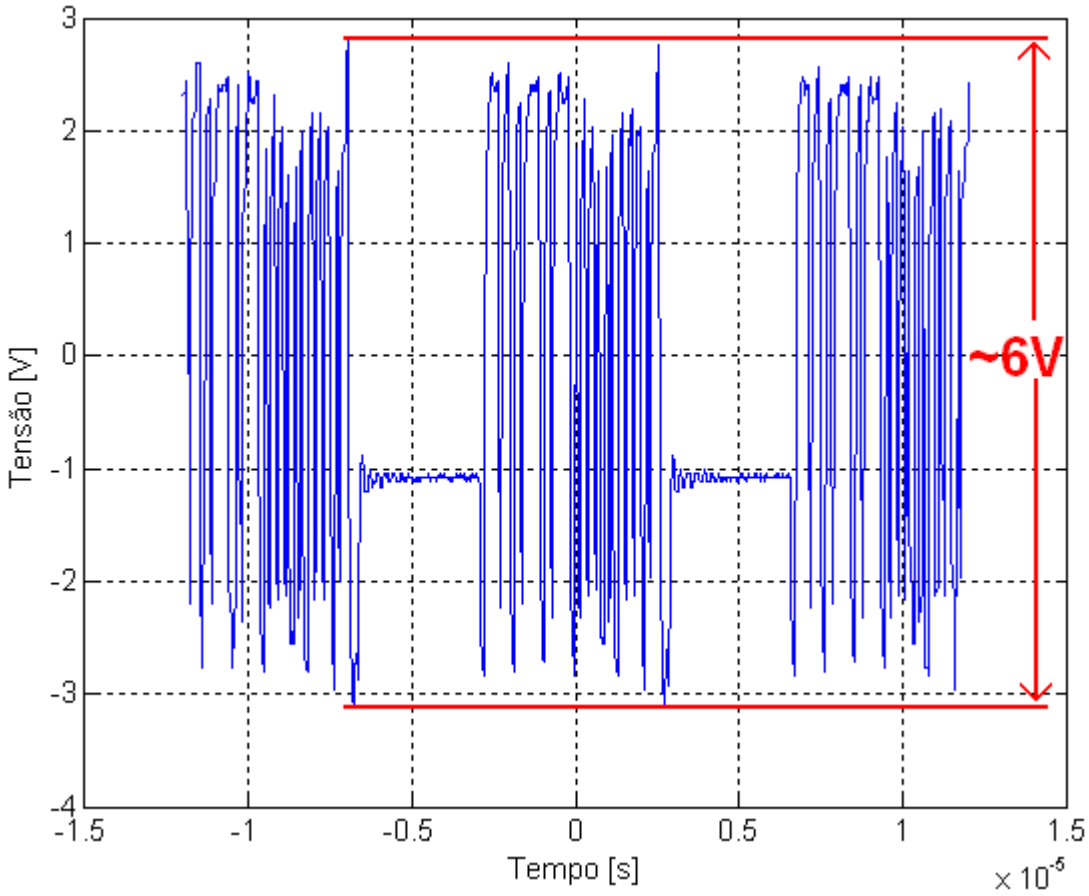


Figura 7 – Tensão diferencial.

As outras medidas realizadas, referentes à tensão de cada linha de dados ao terra digital estão demonstradas nas Figuras 8 e 9.

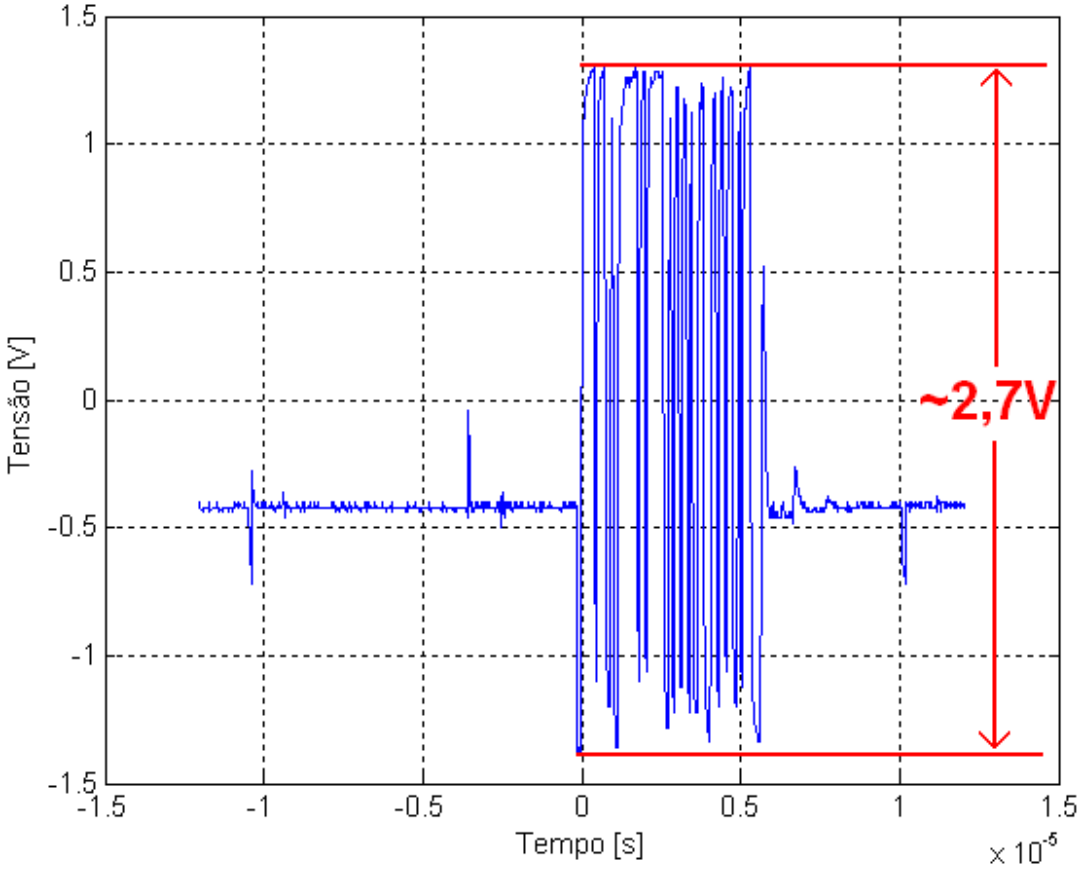


Figura 8 – Tensão entre a Linha de dados *A* e o terra digital.

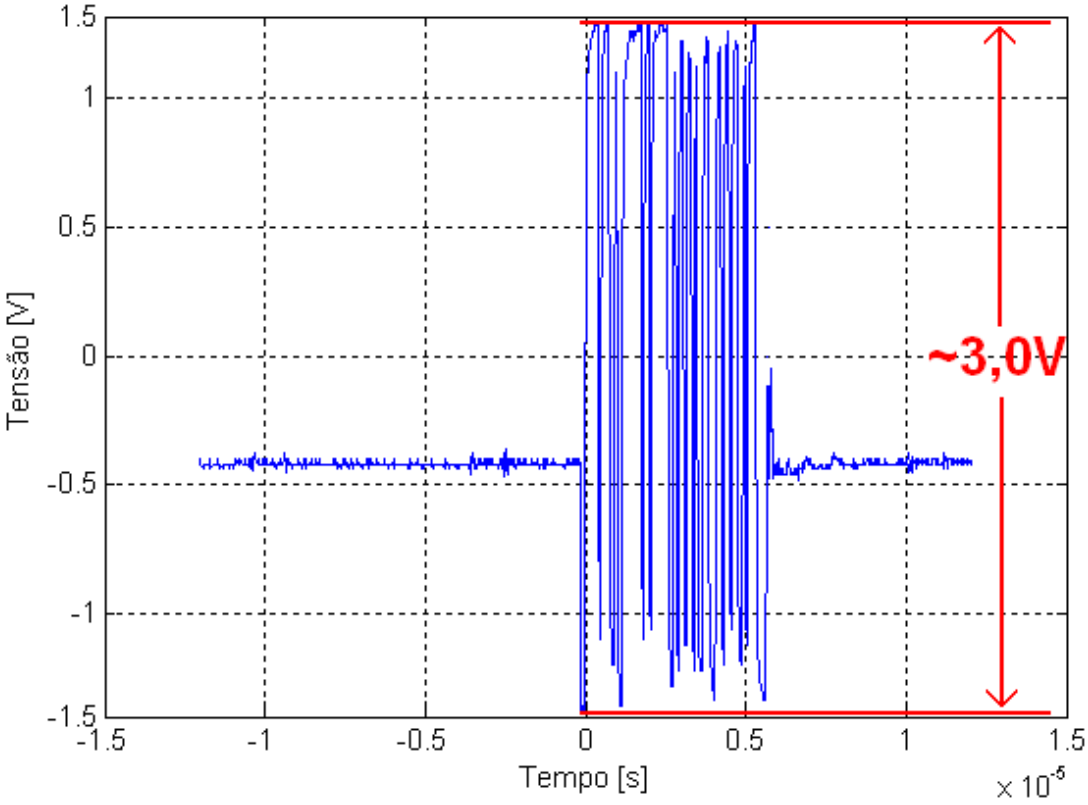


Figura 9 – Tensão entre a Linha de dados *B* e o terra digital.

Conforme pode ser visto, a tensão da linha *A* ao terra ficou em torno de 2,7V enquanto a linha *B* se pôs em aproximadamente 3,0V. A partir disso, somando-se e subtraindo-se os dois valores, obtém-se, respectivamente, 5,7V e 0,3V, estando dentro da faixa permitida para certificação.

2.1.4) Impedância e Reflexão

Em linhas de sinais com fontes e receptores que possuem diferentes impedâncias pode-se observar o fenômeno de reflexão de ondas e a superposição das mesmas. As reflexões no cabo PROFIBUS, por sua vez, causadas pela impedância do dispositivo em teste deve ser verificada, caso este suporte taxas de comunicação acima de 1,5kbit/s [2].

O teste, de acordo com [2], consiste em um gerador de pulsos enviando um pulso de 5V no cabo em que está conectado o dispositivo em teste. O tempo de subida do pulso, por sua vez, deve ser maior que 7,5ns e menor que 12,5ns. O máximo valor de tensão permitido de reflexão pelo item em teste é de 0,5V de pico a pico, como demonstrado na Figura 10 (Fonte: [2]).

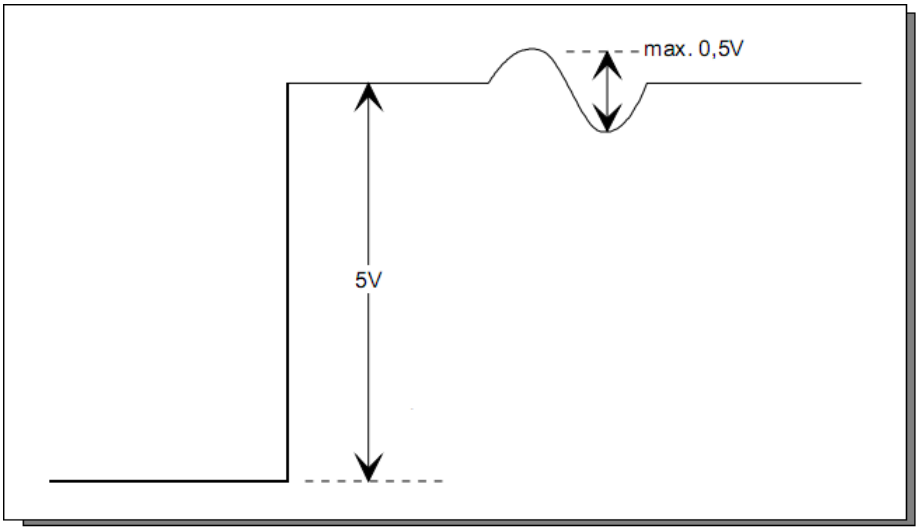


Figura 10 – Pulso de onda e reflexão.

A forma e a amplitude da reflexão podem ser controladas a partir de indutores acoplados ao cabo, para que seja reduzida a capacitância no dispositivo caso este esteja fora das especificações.

No caso em questão, foi utilizado como gerador de pulso, um mestre PROFIBUS DP operando em baixa velocidade de transmissão seguindo a configuração de rede demonstrada na Figura 11, proposta em [2].

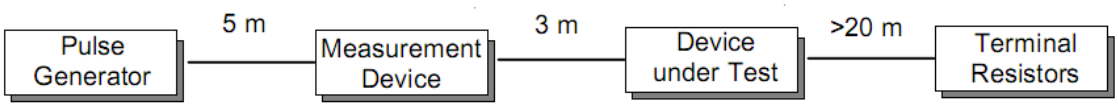


Figura 11 – Rede para teste de impedância e reflexão.

A princípio, buscou-se observar o comportamento do pulso de subida a partir dos dados representados na Figura 12.

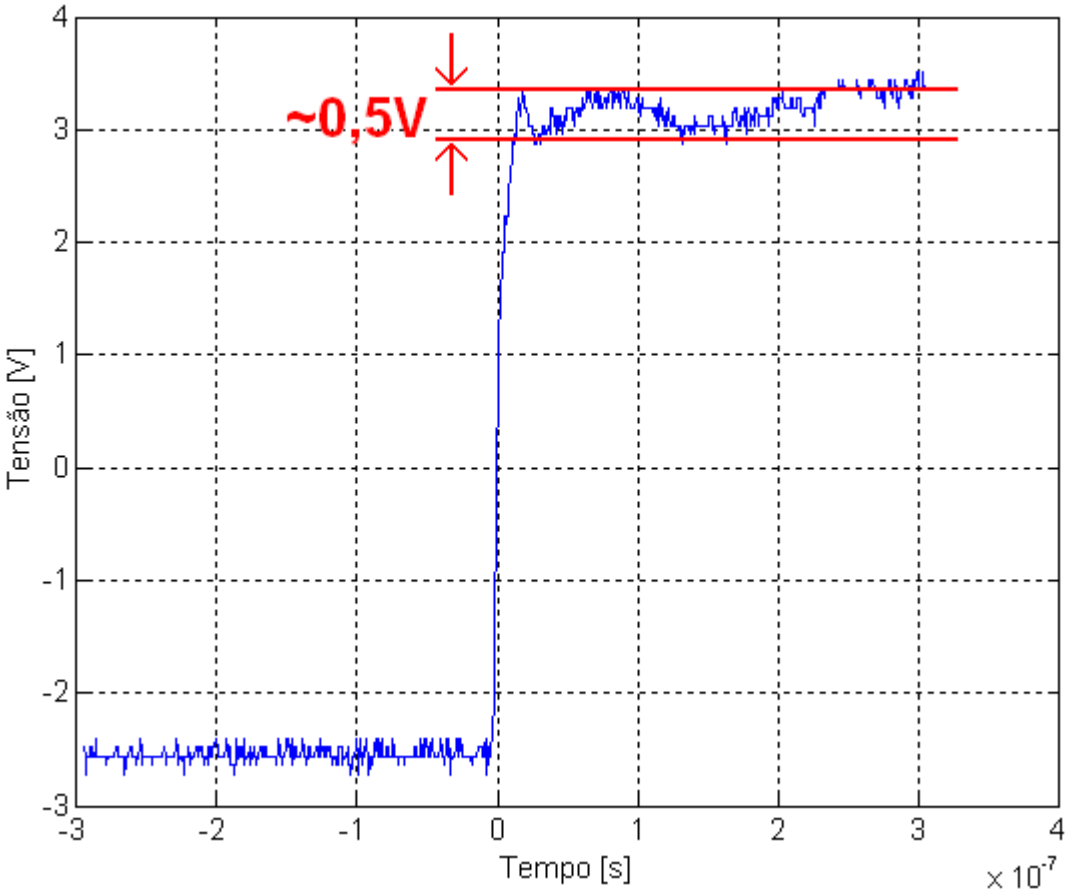


Figura 12 – Resposta ao impulso.

Tendo-se esses dados, verifica-se, inicialmente o valor da amplitude da reflexão em torno de 0,5V, na parte superior do sinal. Além disso, é possível verificar também, o tempo de subida do sinal a partir da diferença dos tempos da onda de impulso a 10% e 90% de

seu valor, conforme visto na Figura 13 em melhor escala. Essa figura, por sua vez, mostra que o tempo de subida está com o valor de 9,2ns, em conformidade com as exigências propostas em [2].

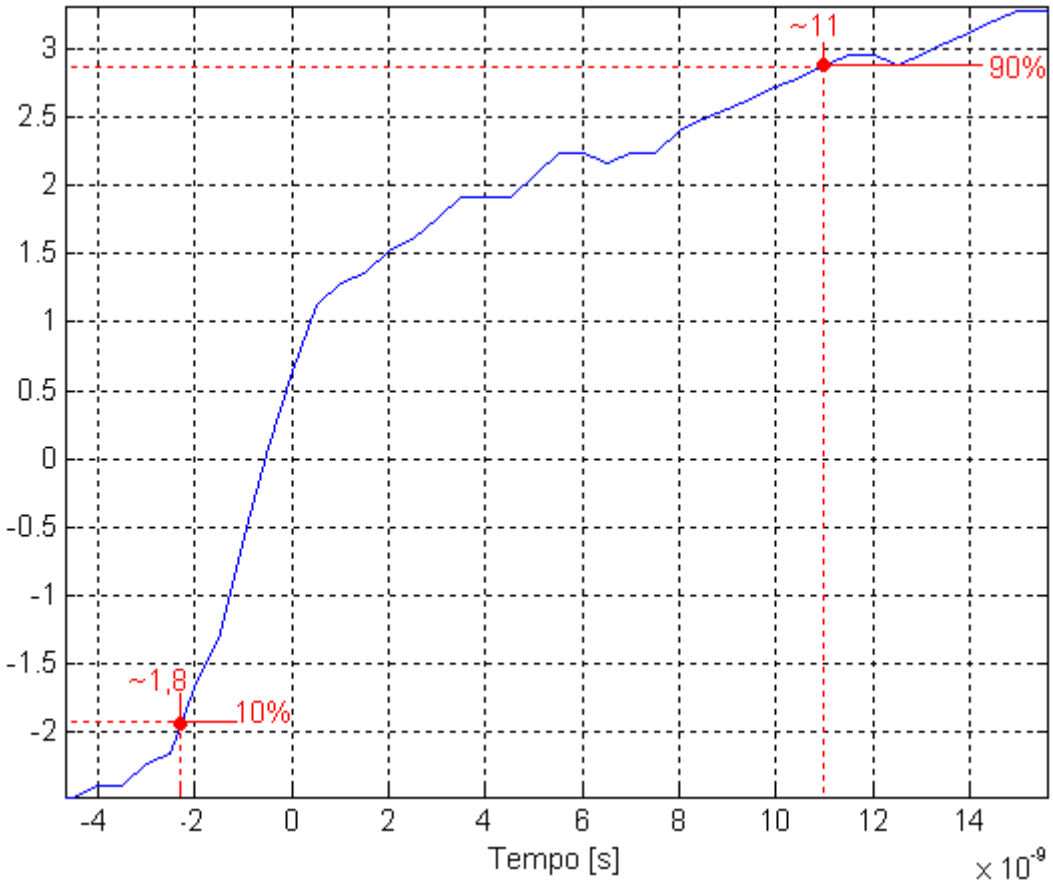


Figura 13 – Pulso de subida.

2.2) Teste de Funcionalidade e Transmissão

Nesta parte dos testes são verificados basicamente tempos de comunicação, endereços, identificação do escravo, operações, formato de dados e arquivo de descrição do dispositivo.

2.2.1) Verificação do *Time Station Delay of Responder* (TSDR)

O TSDR é o tempo que o escravo espera para responder a uma solicitação do mestre [4]. Esse tempo de espera é definido dentro de uma faixa contendo um valor mínimo e um máximo e é contabilizado em unidades de tempos de *bit* (*Tbit*) que varia conforme a taxa de

transmissão utilizada. Os valores de tempo correspondentes a cada *Tbit* em relação às diferentes taxas de transmissão do protocolo PROFIBUS podem ser verificados na Tabela 5.

Tabela 5 – Tempo de envio de cada bit por taxa de transmissão.

Taxa de Transmissão [kBit/s]	Tbit [µs]	Taxa de Transmissão [kBit/s]	Tbit [µs]
9,60	104,1667	500	2,0000
19,20	52,0834	1500	0,6667
45,45	22,0022	3000	0,3334
93,75	10,6667	6000	0,1667
187,50	5,3334	12000	0,0833

Fonte: [4]

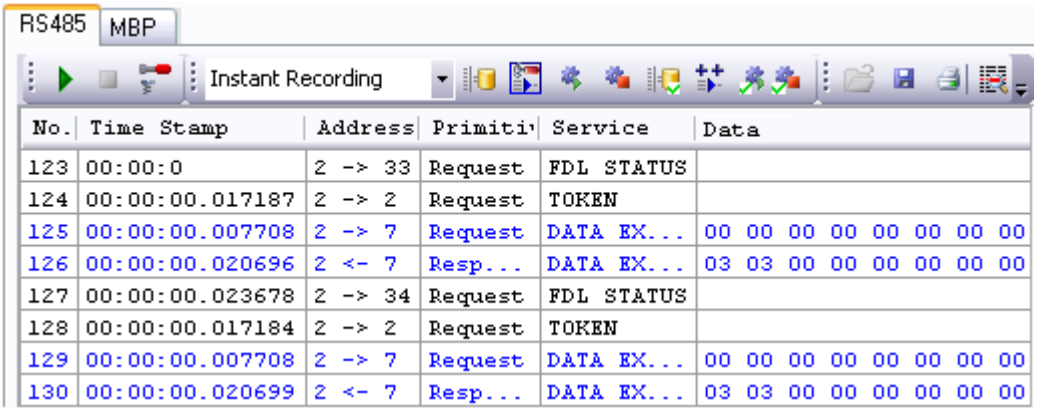
O valor mínimo do TSDR aparece notificado no telegrama de parametrização e corresponde, para um sistema PROFIBUS DP regular, a 11 *Tbit* [4].

Com relação aos valores máximos do TSDR, de acordo com [4], devem estar listados no arquivo GSD do escravo e de maneira padrão, estão dentro do intervalo de 60 e 800 *Tbit*. Para o escravo utilizado no teste, segue abaixo a Tabela 6 referente aos tempos máximos TSDR retirados do GSD.

Tabela 6 – Valores máximos para o TSDR do escravo em teste.

Taxa de Transmissão [kBit/s]	Max TSDR [µs]	Max TSDR [*Tbit*]	Taxa de Transmissão [kBit/s]	Max TSDR [µs]	Max TSDR [*Tbit*]
9,60	6250,00	60	500	200,000	100
19,20	3125,00	60	1500	100,000	150
45,45	8800,88	400	3000	83,350	250
93,75	640,00	60	6000	75,015	450
187,5	320,004	60	12000	66,640	800

O teste em questão consiste em medir os tempos de TSDR para cada taxa de transmissão suportada pelo escravo. Para tanto utilizou-se um analisador de protocolo (Profibus Protocol Analyser BC 400 PB da Softing®), e a partir da leitura dos dados trocados entre o mestre e o escravo de uma rede formada apenas por esses dois dispositivos, verificou-se, conforme a Figura 14, o tempo de TSDR pela subtração entre o instante de tempo inicial do envio da mensagem do mestre ao escravo e o instante do começo do envio da resposta pelo dispositivo em teste (coluna "Subtração" na Tabela 7), menos a quantidade em tempo de todos os *bytes* do telegrama. Dessa forma, para o caso em questão, a quantidade de *bytes* trocados entre esses dois dispositivos é de 17 *bytes*, sendo nove deles padrões do telegrama, sem as indicações de *Service Access Point* (SAP), por serem telegramas de troca cíclica de dados, e mais oito *bytes* de *Protocol Data Unit* (PDU), referentes aos módulos de dados configurados no escravo. Além disso, segundo [4], cada *byte* foi considerado, a partir dos padrões do protocolo, como contendo 11 caracteres, somando-se, portanto 187 *bits.* Os resultados encontrados estão demonstrados na Tabela 7.



No.	Time Stamp	Address	Primiti	Service	Data
123	00:00:0	2 -> 33	Request	FDL STATUS	
124	00:00:00.017187	2 -> 2	Request	TOKEN	
125	00:00:00.007708	2 -> 7	Request	DATA EX...	00 00 00 00 00 00 00 00
126	00:00:00.020696	2 <- 7	Resp...	DATA EX...	03 03 00 00 00 00 00 00
127	00:00:00.023678	2 -> 34	Request	FDL STATUS	
128	00:00:00.017184	2 -> 2	Request	TOKEN	
129	00:00:00.007708	2 -> 7	Request	DATA EX...	00 00 00 00 00 00 00 00
130	00:00:00.020699	2 <- 7	Resp...	DATA EX...	03 03 00 00 00 00 00 00

Figura 14 - Dados provenientes do analisador de protocolo.

Tabela 7 – Resultados para o TSDR .

Velocidade [kbit/s]	Subtração [us]	*Tbit* [us]	Total [*byte*]	Total [*bit*]	Resultado Final [us]	Mínimo TSDR [us]	Máximo TSDR [us]
9,60	20699,0	104,1667	17	187	1219,8270	1145,830	6250,000
19,20	10340,1	52,0834	17	187	600,5042	572,917	3125,000
45,45	4368,0	22,0022	17	187	253,5886	242,024	8800,880
93,75	2119,0	10,6667	17	187	124,3271	117,334	640,000
187,50	1059,0	5,3334	17	187	61,6542	58,667	320,004
500,00	397,0	2,0000	17	187	23,0000	22,000	200,000
1500,00	133,0	0,6667	17	187	8,3271	7,334	100,000
3000,00	67,0	0,3334	17	187	4,6542	3,667	83,350
6000,00	34,0	0,1667	17	187	2,8271	1,834	75,015
12000,00	17,0	0,0833	17	187	1,4229	0,916	66,640

Verifica-se pelos dados demonstrados que os valores de tempo encontram-se dentro do intervalo esperado, o que valida a operação do escravo para todas as velocidades de transmissão aceitas.

2.2.2) Endereços

Os endereços físicos de rede de dispositivos PROFIBUS DP são definidos no intervalo compreendido entre 0 e 127, sendo que este último é utilizado para o envio de mensagens em *BROADCAST* ou *MULTICAST* onde o mestre envia mensagens de maneira simultânea para todos os escravos ou para um grupo específico, respectivamente. O endereço 126, por sua vez, é utilizado geralmente como inicial para equipamentos que usam o serviço de *SET_SLAVE_ADDRESS* sob o qual são endereçados por um mestre classe 2 [4].

De acordo com [2], é necessário testar se o escravo consegue suportar todos os valores endereçáveis de 0 a 125, previstos em uma rede PROFIBUS, sendo que a quantidade mínima de endereços diferentes suportados por um escravo deve ser de 32.

O teste, então, requer que seja feito o uso do escravo endereçado em diferentes valores devendo ser observada sua correta operação em cada um. Para isso, foi utilizado um equipamento analisador de rede com a função de registrar todos os telegramas trocados entre os dispositivos. A Figura 15 mostra a resposta desse equipamento de diagnóstico em uma rede formada por um mestre e um escravo, sob a qual se pode observar os endereços dos dispositivos e a realização da parametrização, configuração, diagnóstico e troca de dados, mostrando a correta operação do equipamento escravo e exemplificando a realização do teste.

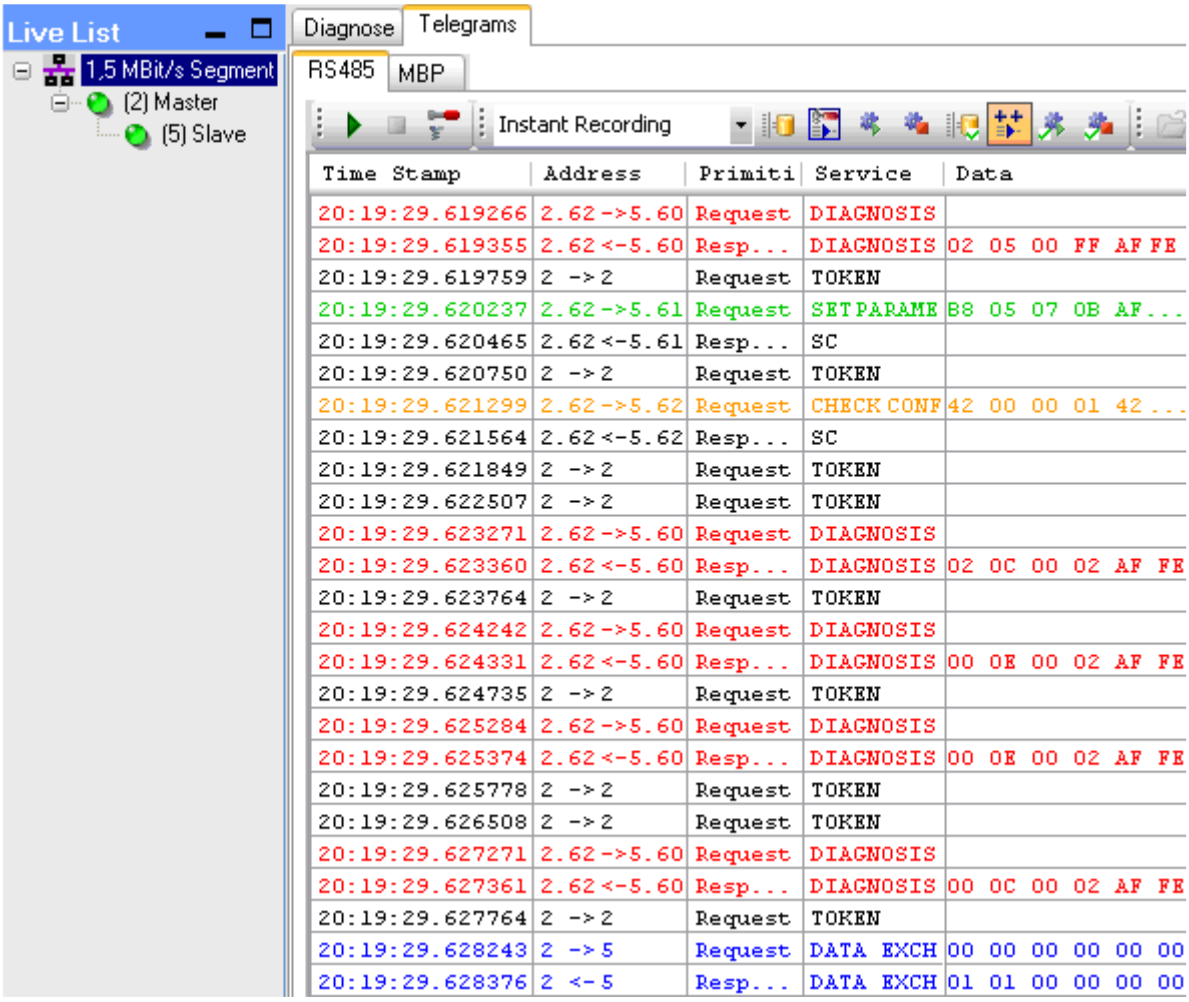


Figura 15 – Endereçamento e inicialização do escravo.

2.2.3) Número de Identificação

Cada dispositivo que utiliza comunicação PROFIBUS DP (exceto mestres classe 2) deve possuir um registro único na associação internacional para que possa ser catalogado e reconhecido mundialmente [5]. Esse registro permite que dispositivos conectados em rede possam ser identificados facilmente com o mínimo de protocolo possível com base no arquivo GSD.

Os fabricantes, por sua vez, devem registrar cada tipo de dispositivo para obter seu número de identificação, sendo este, diferente de um número de série e possuindo os valores hexadecimais que estão dentro da faixa de 0001h a FFFEh. À medida que equipamentos do mesmo tipo forem produzidos, se o modelo já possui um *ID Number*, todos os dispositivos semelhantes podem ter o mesmo sem a necessidade de ser ter um registro para cada equipamento fabricado [5].

O arquivo GSD do dispositivo deve trazer obrigatoriamente o número de identificação catalogado pela Associação PROFIBUS internacional, como ilustrado adiante na Figura 16.

```
;===============================================
;==== General DP Keywords ====================
;===============================================

GSD_Revision = 5
Vendor_Name = "profichip GmbH"
Model_Name = "DPV1AFFE"
Revision = "1.00"
Ident_Number = 0xAFFE
Protocol_Ident = 0
Station_Type = 0
FMS_supp = 0
Hardware_Release = "V1.00"
Software_Release = "V1.00"
Redundancy = 0
Repeater_Ctrl_Sig = 2
24V_Pins = 0
```

Figura 16 – Representação do *Ident Number* no arquivo GSD.

Com relação ao teste corrente, portanto, é necessário que cada escravo tenha gravado internamente seu número de identificação, sem a possibilidade de alterá-lo e possa acessá-lo quando requisitado. Esse número, por sua vez, deve estar de acordo com o que aparece no arquivo de identificação e condizente com o registro na associação internacional [2]. Para tanto, pode-se utilizar um analisador de rede que consiga ler os telegramas trocados na comunicação com o intuito de verificar se o número de identificação do escravo está correto.

Address	Primit	Service	Data
2 -> 2	Request	TOKEN	
2.62 -> 7.60	Request	DIAGNOSIS	
2.62 <- 7.60	Resp...	DIAGNOSIS	02 05 00 FF AF FE
2 -> 2	Request	TOKEN	
2.62 -> 7.61	Request	SET PARAMETERS	B8 05 07 0B AF FE 00 C4...
2.62 <- 7.61	Resp...	SC	
2 -> 2	Request	TOKEN	
2.62 -> 7.62	Request	CHECK CONFIG	42 00 00 01 42 00 00 02...
2.62 <- 7.62	Resp...	SC	
2 -> 2	Request	TOKEN	
2 -> 2	Request	TOKEN	
2.62 -> 7.60	Request	DIAGNOSIS	
2.62 <- 7.60	Resp...	DIAGNOSIS	02 0C 00 02 AF FE
2 -> 2	Request	TOKEN	
2.62 -> 7.60	Request	DIAGNOSIS	
2.62 <- 7.60	Resp...	DIAGNOSIS	00 0E 00 02 AF FE
2 -> 2	Request	TOKEN	
2.62 -> 7.60	Request	DIAGNOSIS	
2.62 <- 7.60	Resp...	DIAGNOSIS	00 0E 00 02 AF FE
2 -> 2	Request	TOKEN	
2 -> 2	Request	TOKEN	
2.62 -> 7.60	Request	DIAGNOSIS	
2.62 <- 7.60	Resp...	DIAGNOSIS	00 0C 00 02 AF FE
2 -> 2	Request	TOKEN	
2 -> 7	Request	DATA EXCHANGE	00 00 00 00 00 00 00 00
2 <- 7	Resp...	DATA EXCHANGE	01 01 00 00 00 00 00 00

Figura 17 – Número de identificação do escravo no telegrama de diagnóstico.

Conforme indicado na Figura 17, o número de identificação do escravo vem inicialmente, no ciclo de inicialização, alocado nos telegramas de parametrização e de resposta de diagnóstico. O primeiro, por sua vez, apresenta-se como uma mensagem do mestre para o escravo contendo parâmetros de comunicação, algumas funções de protocolo suportadas, parâmetros específicos do escravo e o número de identificação de acordo com o GSD, nos octetos 5 e 6. Já no segundo caso, o telegrama de resposta de diagnóstico é uma forma de o escravo avisar ao mestre o seu status e sua aceitação ou não dos parâmetros inicialmente transmitidos na fase de parametrização sendo que o número de identificação é apresentado e confirmado também nos octetos 5 e 6, em hexadecimal.

2.2.4) Velocidades de Transmissão

O protocolo PROFIBUS em sua versão DP possui velocidades de transmissão de dados que vão desde 9,6kbit/s até 12Mbit/s [4]. A velocidade desse tipo de rede, por sua vez, deve ser escolhida de acordo com as quais forem suportadas por seus equipamentos

constituintes. Dessa forma, se ao menos um escravo suportar no máximo uma taxa de transmissão menor que os outros, essa então deve ser a velocidade escolhida para a rede.

O escravo DP não precisa necessariamente suportar todas as velocidades, porém, as que forem suportadas devem vir corretamente especificadas em seu arquivo GSD [2], como exemplificado na Figura 18.

```
;==============================================
;==== Supported baudrates ====================
;==============================================

9.6_supp = 1
19.2_supp = 1
45.45_supp = 1
93.75_supp = 1
187.5_supp = 1
500_supp = 1
1.5M_supp = 1
3M_supp = 1
6M_supp = 1
12M_supp = 1
```

Figura 18 – Velocidades de comunicação representadas no arquivo GSD.

A escolha da velocidade da rede é feita na fase de configuração da mesma sendo que a constatação de sua aceitação eficiente é verificada pelo estabelecimento correto da comunicação entre mestre e escravos. Para tanto, o teste em questão visa observar na rede os estados de parametrização, reconhecimento da taxa de comunicação e aceitação da comunicação de maneira correta [2].

Utilizando-se uma ferramenta de análise de protocolo, então, adicionada a rede que foi estabelecida entre um escravo e um mestre PROFIBUS DP, foi possível observar o estabelecimento correto da comunicação a partir da verificação da máquina de estados de inicialização do escravo até a troca cíclica de dados, conforme mostra a Figura 19. Isso foi feito para todas as velocidades de transmissão aceitas pelo escravo, obtendo-se sempre o mesmo resultado.

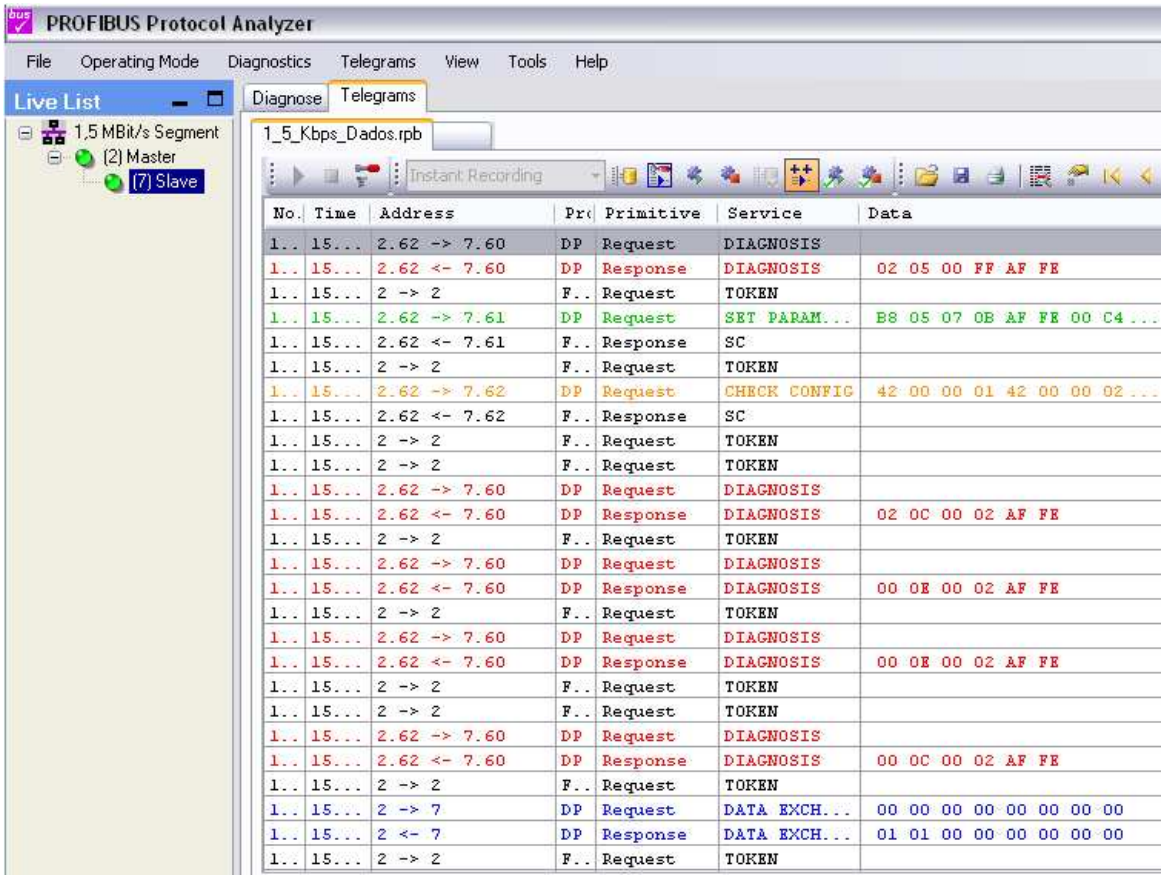


Figura 19 – Comunicação entre mestre e escravo para velocidade de 1,5 Mbit/s.

2.2.5) Operação em Redes Mistas

A tecnologia de comunicação PROFIBUS, conforme já mencionado, possui algumas variantes além do PROFIBUS DP, ou seja, o FMS e o PA.

Todas as três variantes, no entanto, trabalham sob o mesmo método padrão de acesso ao duto de comunicação sendo hábeis a utilizar a mesma técnica de transmissão de dados e operar simultaneamente na mesma rede. Dessa forma, para ser corretamente certificado, um dispositivo escravo DP, deve ser capaz de operar numa rede mista com equipamentos PROFIBUS PA ou FMS [2]. Em função disso, foi criada uma rede contendo um mestre PROFIBUS DP, um escravo DP em teste e um escravo PA, conforme pode ser observado na Figura 20 para ser observado o comportamento da rede.

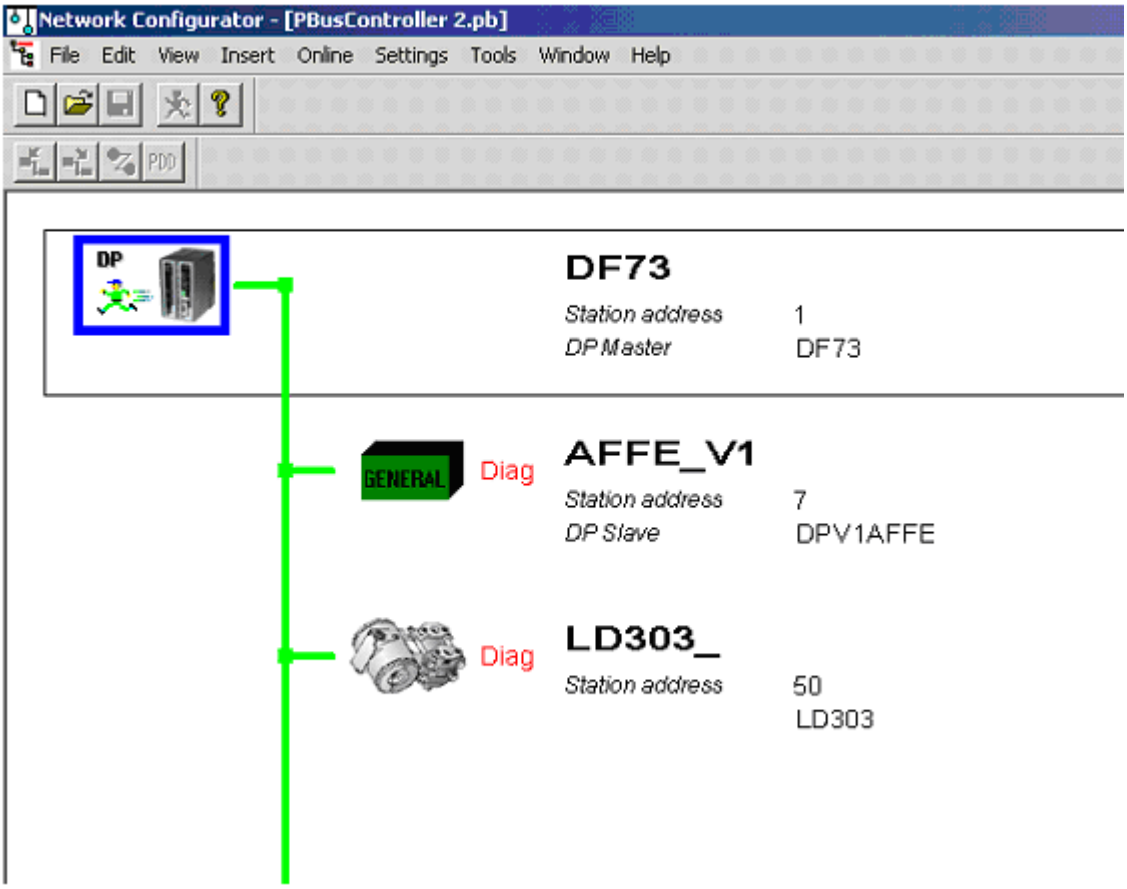


Figura 20 – Rede com dispositivos mistos.

A troca de dados entre os dispositivos, por sua vez, pode ser verificada na Figura 21 onde está explicitada a presença na rede de um mestre no endereço físico 1, o escravo DP no endereço 7 e um escravo PA no endereço 50. Além disso, pode-se ver que o escravo DP foi inicializado corretamente, passando pelas etapas de diagnóstico, parametrização, verificação da configuração e troca de dados cíclica sem a ocorrência de erros ou inadequações na comunicação.

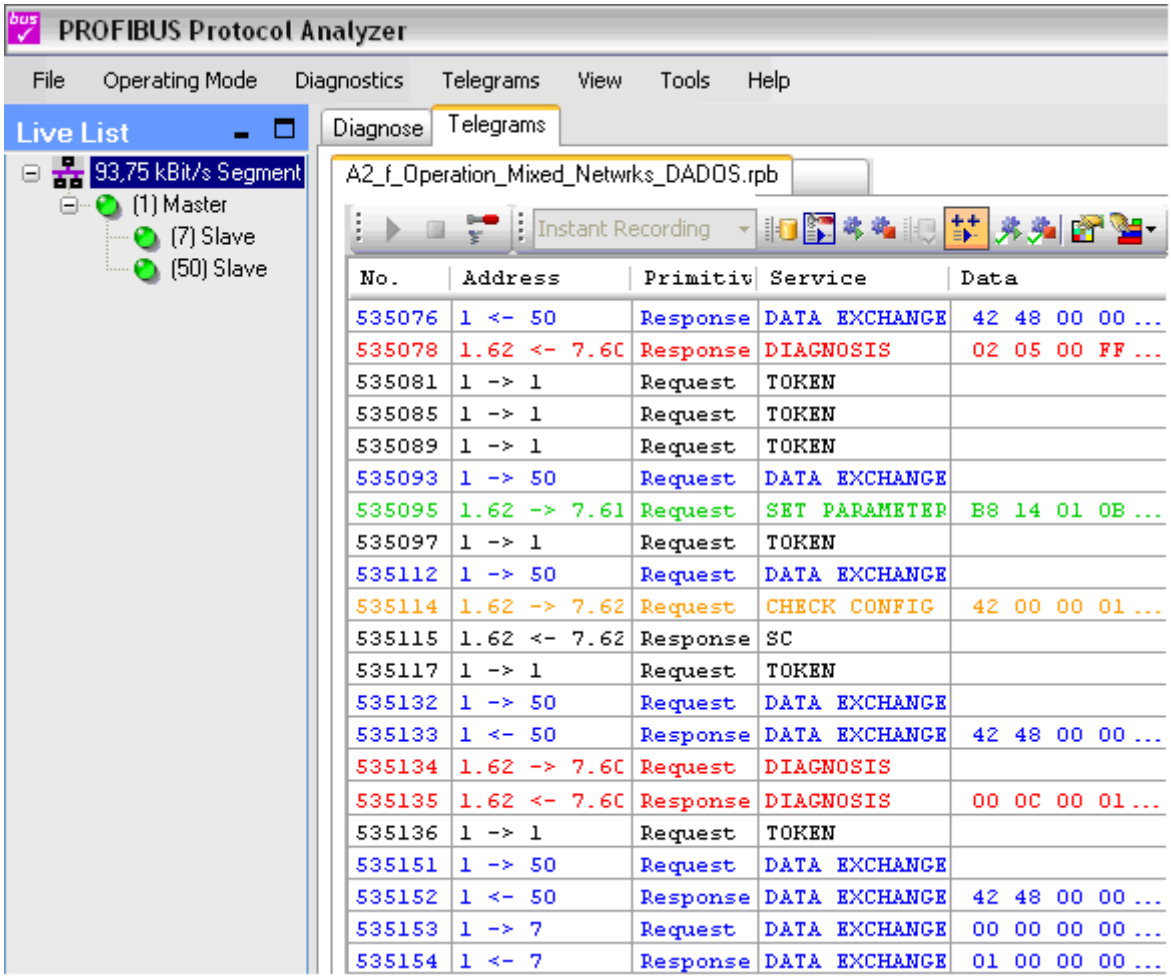


Figura 21 – Análise da comunicação em rede mista.

2.2.6) Verificação do arquivo GSD

De acordo com a IEC 61784 para cada mestre classe 1 e escravo PROFIBUS DP deve existir um arquivo GSD [2]. Esse arquivo é desenvolvido em um formato *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII) especial e fornece informações sobre o dispositivo que são necessárias à sua configuração e a da rede para operação correta do sistema [6].

Os dispositivos PROFIBUS possuem diferentes perfis e características de performance, ou seja, diferem em funcionalidades, parâmetros de transmissão e tempos de monitoramento, por exemplo. Esses parâmetros, por sua vez, são particulares de cada equipamento e vendedor, sendo necessário, portanto, que estejam na documentação do escravo.

Uma das vantagens de se ter um arquivo de especificação padrão para os dispositivos é a opção de se poder desenvolver ferramentas de configuração genéricas, ou seja, independentes de qualquer fabricante. Além disso, esse tipo de arquivo torna simples a verificação dos dados de parametrização caso haja algum erro na comunicação.

Dispositivos que suportam outros tipos de protocolo além do DP, como o FMS por exemplo, devem possuir, no início do GSD, outra base de dados específica.

Cada fabricante, por sua vez, é responsável pela funcionalidade e qualidade do arquivo de descrição de seus dispositivo sendo essencial para a certificação dos mesmos.

O arquivo GSD inicialmente, pode ser desenvolvido em qualquer editor de texto em código ASCII e deve ser salvo com um nome formado por oito caracteres sob o qual os quatro primeiros identificam o nome do fabricante e os outros quatro, constituem o número de identificação do escravo. Além disso, esse arquivo de texto deve ser gravado com a extensão correta que de maneira padrão é **.gsd*, porém, pode conter variações , conforme a Tabela 8, relacionadas a diferentes línguas [6].

Tabela 8 – Extensão dos arquivos GSD para diferentes Línguas.

Língua	Extensão
Inglês	*.gse
Francês	*.gsf
Alemão	*.gsd
Italiano	*.gsi
Português	*.gsp
Espanhol	*.gss

(Fonte: [6])

Outro ponto importante, de acordo com [6], a ser observado neste tipo de arquivo é que deve iniciar com o delimitador *#PROFIBUS-DP* e ser formado por palavras-chave que representam parâmetros orientados por linhas, ou seja, cada linha deve conter apenas um parâmetro sendo que cada linha deve possuir o valor máximo de 80 caracteres. Caso não seja possível conter todas as informações desejadas em apenas uma linha, deve-se completar a informação da linha anterior com uma nova linha a qual tem que ser terminada por “\”. Além disso, os dados de texto necessitam ser escritos entre aspas e não existe identificador de finalização do programa.

Em se tratando dos parâmetros relacionados aos caracteres declarados, existe, basicamente, dois tipos principais direcionados a um escravo, ou seja, especificações gerais e especificações relacionadas ao escravo. As primeiras tratam de informações básicas como nome do vendedor do dispositivo, versões de hardware e software, taxas de comunicação suportadas, tempos de monitoramento aceitáveis e atribuição de sinais ao

conector de linha, por exemplo. Já as especificações relacionadas ao escravo, englobam informações voltadas ás tarefas práticas e de instalação do equipamento como número e tipos de canais, informações sobre módulos e diagnósticos [6].

A verificação sintática do arquivo GSD, contudo, conforme o guia de testes para a certificação de escravos PROFIBUS DP, criado pela organização PROFIBUS internacional, pode ser facilitada a partir de um programa oficial, que edita e verifica os erros do arquivo em questão. A Figura 22 adiante ilustra brevemente esse programa, cujo nome é GSD-EDITOR e está disponível no site da associação internacional para usuários cadastrados.

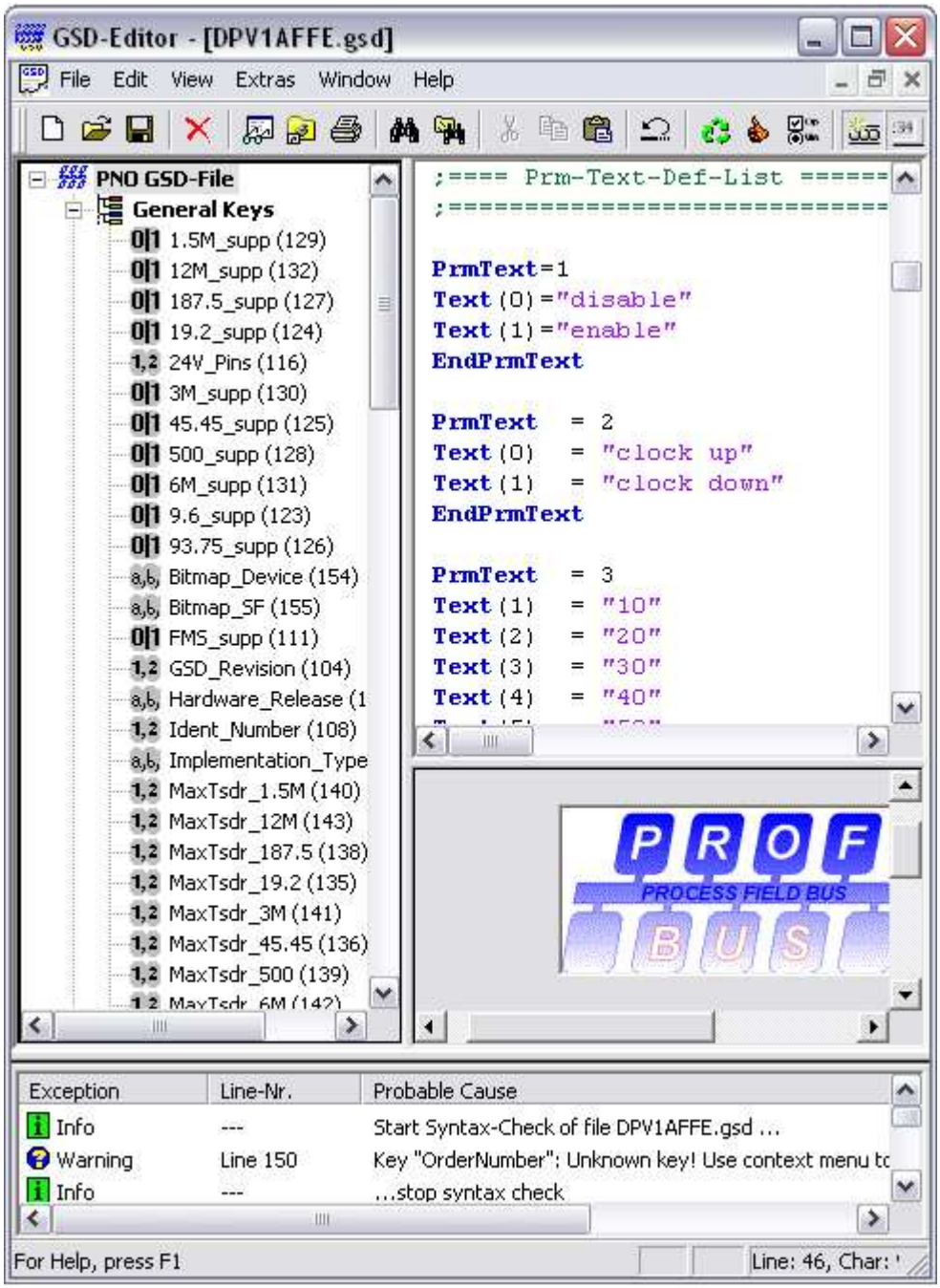


Figura 22 – GSD *Editor*.

Além da verificação de edição do arquivo, faz-se necessária a checagem dos parâmetros do mesmo. Para tanto, deve-se comparar os disponíveis no escravo e os descritos no GSD, como por exemplo, tipos e quantidades de módulos, alarmes, taxas de transmissão e funções suportadas, como devem estar descritas no manual do dispositivo. A Figura 23 exemplifica uma parte do GSD que contém alguns dos parâmetros necessários a correta operação do escravo.

```
;==========================================================
;==== General DP Keywords ================================
;==========================================================

GSD_Revision = 5
Vendor_Name = "profichip GmbH"
Model_Name = "DPV1AFFE"
Revision = "1.00"
Ident_Number = 0xAFFE
Protocol_Ident = 0
Station_Type = 0
FMS_supp = 0
Hardware_Release = "V1.00"
Software_Release = "V1.00"
Redundancy = 0
Repeater_Ctrl_Sig = 2
24V_Pins = 0


;==========================================================
;==== Supported baudrates ================================
;==========================================================

9.6_supp = 1
19.2_supp = 1
45.45_supp = 1
93.75_supp = 1
187.5_supp = 1
500_supp = 1
1.5M_supp = 1
3M_supp = 1
6M_supp = 1
12M_supp = 1
```

Figura 23 – Exemplo parcial de arquivo GSD.

Outra parte bastante importante com relação ao arquivo de descrição de escravo é a sua funcionalidade, ou seja, deve ser verificada a capacidade de reconhecimento e interpretação do arquivo pelos diferentes programas de configuração de redes. Além disso, depois de configurada a rede, o escravo deve ser corretamente parametrizado e entrar em troca de dados sem nenhum tipo de erro [2].

2.2.7) Formato de Dados

O PROFIBUS DP, conforme já mencionado anteriormente, usa dois tipos de serviços de transmissão para enviar mensagens de comunicação definidas na segunda camada do modelo OSI, o *Send and Request Data With Acknowledge* (SRD), ou seja, envia e solicita dados com reconhecimento e *Send and Request Data With No Acknowledge* (SDN), envia e solicita dados sem reconhecimento [7].

Dessa forma, com o SRD, os dados são enviados e recebidos em um ciclo de telegramas sob o qual o mestre manda dados de saída ao escravo e este retorna dados de entrada ao mestre, quando necessário, em um período de tempo específico. O que se deve saber, também, é que o envio e recebimento de dados de entrada ou saída deve ser feito em apenas um ciclo de comunicação. Esse tipo de serviço, por sua vez, apresenta-se como o mais usual no PROFIBUS DP pois faz a comunicação ser bastante eficiente. O outro tipo de serviço, o SDN, é utilizado para mensagens que devem ser trocadas simultaneamente com um grupo de escravos (*Multicast*), ou todos os escravos ao mesmo tempo (*Broadcast*) em uma rede sem haver resposta [7].

Ambos os serviços, no entanto, possuem os caracteres de dados formados por 11 bits, conforme demonstrado na Tabela 9 [7], sendo que, para o PROFIBUS DP, a troca de dados é feita no sistema *Non Return to Zero* (NRZ), ou seja, a forma do sinal binário, *0* ou *1*, não deve ser alterada durante o envio do bit, além disso, se nada estiver sendo transmitido na linha, seu potencial é *1* e quando surge um start bit, vai para *0* [7].

Tabela 9 – Caractere de comunicação para PROFIBUS DP.

Start	**D0**	**D1**	**D2**	**D3**	**D4**	**D5**	**D6**	**D7**	**Paridade**	***Stop***
0	0	1	2	3	4	5	6	7	Par	*1*
←	LSB	←	←	←	←	←	←	MSB	←	←

(Fonte: [10])

O caractere de comunicação do PROFIBUS DP, aplica-se a todos os dados trocados, incluindo os bytes de cabeçalho das mensagens. Quando os dados são transmitidos em uma rede, por sua vez, são passados em ordem de bit menos significante (LSB) para mais significante (MSB). Com relação a troca de mais de um byte, no entanto, o byte mais significativo é transmitido primeiro seguido dos outros menos significativo [7].

As redes PROFIBUS, em decorrência, utilizam o método de paridade par para verificação e controle de erros na transmissão. Dessa forma, o número de bits em nível lógico alto no campo de dados do byte é contado e de acordo com o resultado, o bit de paridade serve como compensador para se ter uma quantidade par de bits em nível lógico *1* A verificação de erro, no entanto, é feita no receptor da mensagem o qual conta o número de bits em *1* e verifica o bit de paridade [7].

Com relação aos tipos de dados e a sua consistência, o telegrama PROFIBUS, de forma inicial, deve conter até 255 bytes, sendo que dentre esses, no máximo 244 podem ser utilizados para campo de dados somados mais 11 referentes ao campo de cabeçalho. Esses últimos, por sua vez, devem estar em todos os telegramas exceto no telegramas de troca cíclica de dados cujo cabeçalho possui apenas 9 bytes (os bytes de *DSAP* e *SSAP* não são utilizados). A estrutura de telegramas pode ser ilustrada, resumidamente, pela Tabela 10 a seguir.

Tabela 10 – Detalhamento dos *bytes* do telegrama PROFIBUS.

Tipo	Quantidade [byte]	Descrição
SD	1	*Start Delimiter* (SD) – usado para distinguir o tipo e o início de telegrama com relação a seu objetivo e campo de dados.
LE	1	*Net Data Length* – Tamanho do dado de rede = DA+AS+FC+DSAP+SSAP+Tamanho (PDU) <= 249.
LEr	1	Repetição do LE.
SDr	1	Repetição do SD.
DA	1	*Destination Address* – Endereço de destino da mensagem
AS	1	*Source Address* – Endereço da estação fonte da mensagem
FC	1	*Function Code* – Usado para identificar o tipo e prioridade da mensagem e o tipo de telegrama como por exemplo telegrama de solicitação, reconhecimento, ou resposta.
DSAP	1	*Destination Service Access Point* – O receptor utiliza esse tipo de informação para verificar o tipo de serviço a ser executado, como leitura e escrita ou configuração, por exemplo.
SSAP	1	*Source Service Access Point* – Tipo de serviço de acesso determinado pelo emissor da mensagem.

(Continua)

Tipo	Quantidade [byte]	Descrição
PDU	1 – 244	*Protocol Data Uni*" – Tamanho da unidade de dados do telegrama.
FCS	1	*Frame Checking Sequence* – verificação da seqüência de bytes.
ED	1	*End Delimiter* – Delimitador do fim do telegrama.

(Conclusão) Fonte: [7]

O teste em questão, portanto, visa verificar se a transmissão e consistência dos dados estão corretas, ou seja, tamanho, formato, ordem e paridade dos bytes. Isso contudo, pode ser observado a partir de um analisador de protocolo, conforme mostrado na Figura 24.

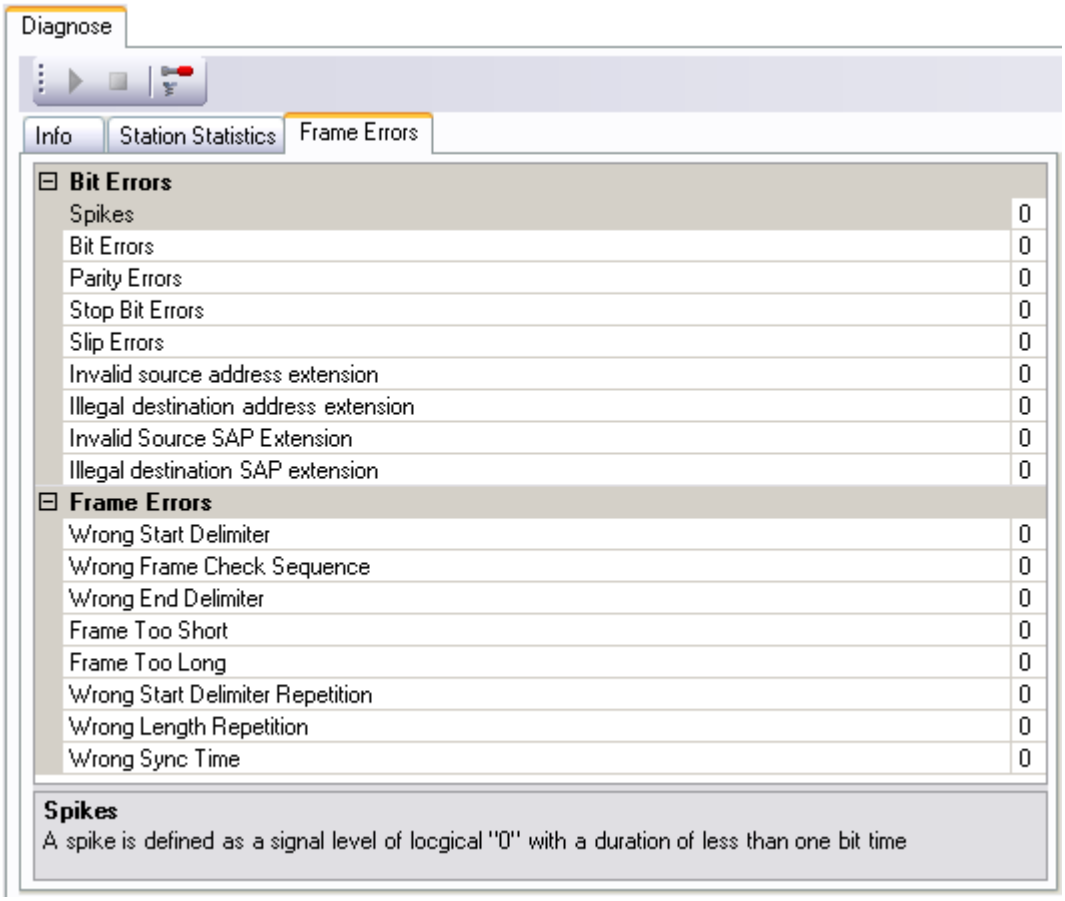


Figura 24– Dados de diagnóstico de erros.

De acordo com o diagnóstico dado pelo analisador, pode-se verificar se há ou não erros no campo *Bit Errors* onde aparecem além dos dados de bits, os erros relacionados a

endereços de destino e fonte para os quais estão sendo enviados os bytes. Além disso, é possível observar também, os erros relacionados aos telegramas de comunicação no campo *Frame Errors* onde estão as inconsistências dos dados em função do protocolo. Para essa demonstração, utilizou-se uma rede formada por um mestre classe 1 e um escravo PROFIBUS DP sob uma lógica qualquer para a observação apenas da troca de dados.

2.3) Teste de Função

Alguns dos testes voltados a esse propósito, quando efetuados em equipamentos que são produzidos a partir de um ASIC de comunicação certificado pela associação PROFIBUS internacional, podem ser descartados, de acordo com [2]. Pelo propósito do trabalho, mesmo o escravo possuindo um ASIC certificado, foram feitos a maioria dos testes necessários a essa parte, buscando exemplificar ao máximo a realização dos mesmos.

2.3.1) Desconexão de cabo de rede no escravo em teste

Como parte da certificação de um escravo DP, verifica-se também seu comportamento com relação à perda da comunicação com o mestre. A partir disso, construiu-se uma rede entre um escravo e um mestre DP e, propositalmente, foi desconectado o cabo de comunicação no escravo. A resposta do sistema a essa ação, verificada a partir de um analisador de rede, pode ser observada em nível de telegramas na Figura 25.

Diagnose | Telegrams

A3_a_Dados.rpb

Instant Recording

No.	Address	Prot	Primitive	Service	Data
302209	2.62 -> 127.58	DP	Request	GLOBAL CONTROL	00 00
302210	2 -> 7	DP	Request	DATA EXCHANGE	01 00 00 00 00 00 00 00
302211	2 <- 7	DP	Response	DATA EXCHANGE	01 01 00 00 00 00 00 00
302213	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
302217	2 -> 7	DP	Request	DATA EXCHANGE	01 00 00 00 00 00 00 00
302218	2 <- 7	DP	Response	DATA EXCHANGE	01 01 00 00 00 00 00 00
302220	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
302227	2 -> 7	DP	Request	DATA EXCHANGE	01 00 00 00 00 00 00 00
302228	2 <- 7	DP	Response	DATA EXCHANGE	01 01 00 00 00 00 00 00
301954	0.0 -> 0.0	FDL	Request		00 02 02 49 4D 16 00
301955	252.57 -> 0.0	FDL	Request		00 02 02 49 4D 16 00
301956	2 -> 2	FDL	Request		00 02 02 49 4D 16 00
301957	0.176 -> 0.0	FDL	Request		00 02 02 49 4D 16 00
301958	0.0 -> 0.0	FDL	Request		00 02 02 49 4D 16 00
301959	0.0 -> 85.16	FDL	Request		00 02 02 49 4D 16 00
301960	1.10 -> 2.255	FDL	Request		60 05
301961	0.0 -> 19.15	FDL	Request		00 1D
301962	1.0 -> 32.0	FDL	Request		D8 02 02 00
301963	32.0 -> 104...	FDL	Request		00 02 02 49 4D 16 00

- PROFIBUS Frame
  - Time:00:00:33.844440
  - Error:PARITY_ERROR; WRONG_SD_ERROR;
  - Frame Type
    - Type:CUSTOM
    - Source address:32.0
    - Destination address:104.161
  - FDL Service
    - Primitive:Request

00H: 00 02 02

Figura 25 – Perda da comunicação entre o escravo e o mestre.

Conforme se verifica na figura anterior, ocorre a perda de comunicação e o mestre inicia uma tentativa de troca de dados em nível *FDL* com *Requests* primitivos e indicação de erros de maneira cíclica, pré-definidas no dispositivo.

Ao se retomar a conexão do cabo com o mestre, no entanto, é feita novamente a inicialização do escravo e reativada a comunicação, conforme demonstrado na Figura 26. Esse comportamento, por sua vez, está de acordo com o especificado em [2].

Diagnose | Telegrams

A3_a_Dados.rpb

Instant Recording

No.	Address	Pro	Primitiv	Service	Data
302035	0.2 -> 0.7	FDL	Request		DC 02 02 00
302036	0.8 -> 0.0	FDL	Request		00 02 02 49 4D 16 00
302037	0.0 -> 0.0	FDL	Request		00 02 02 49 4D 16 00
302042	2.62 -> 7.60	DP	Request	DIAGNOSIS	
302043	2.62 <- 7.60	DP	Resp...	DIAGNOSIS	02 05 00 FF AF FE
302045	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
302052	2.62 -> 7.61	DP	Request	SET PARAME...	B8 05 07 0B AF FE ...
302053	2.62 <- 7.61	FDL	Resp...	SC	
302055	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
302062	2.62 -> 7.62	DP	Request	CHECK CONFIG	42 00 00 01 42 00 ...
302063	2.62 <- 7.62	FDL	Resp...	SC	
302065	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
302073	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
302084	2.62 -> 7.60	DP	Request	DIAGNOSIS	
302085	2.62 <- 7.60	DP	Resp...	DIAGNOSIS	02 0C 00 02 AF FE
302087	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
302095	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
302106	2.62 -> 7.60	DP	Request	DIAGNOSIS	
302107	2.62 <- 7.60	DP	Resp...	DIAGNOSIS	00 0E 00 02 AF FE
302109	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
302116	2.62 -> 7.60	DP	Request	DIAGNOSIS	
302117	2.62 <- 7.60	DP	Resp...	DIAGNOSIS	00 0C 00 02 AF FE
302119	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
302128	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
302138	2 -> 7	DP	Request	DATA EXCHANGE	01 00 00 00 00 00 ...
302139	2 <- 7	DP	Resp...	DATA EXCHANGE	01 01 00 00 00 00 ...
302141	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	

Figura 26 – Comunicação retomada com o mestre.

2.3.2) Ligação da Alimentação de Tensão

Uma das verificações feitas pelo teste de certificação, também, é o comportamento do escravo com relação ao ligamento de sua energia de alimentação quando já conectado em uma determinada rede. A partir disso, espera-se que quando ligado, o escravo inicie automaticamente a comunicação cíclica sem a ocorrência de erros [2].

Para tanto, foi criada uma rede entre um escravo e um Controlador Lógico Programável (CLP) e ligou-se o escravo depois de um tempo sob o qual o mestre já estava ligado, sendo observada a troca de telegramas, novamente por um analisador de protocolo, conforme a Figura 27.

Diagnose | Telegrams

A3_b_Puwer_Supply_Dados.rpb

Instant Recording

No.	Address	Protocol	Primitive	Service	Data
5268456	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
5268463	2.62 -> 7.60	DP	Request	DIAGNOSIS	
5268465	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
5268472	2.62 -> 7.60	DP	Request	DIAGNOSIS	
5268474	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
5268480	2.62 -> 7.60	DP	Request	DIAGNOSIS	
5268482	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
5268489	2.62 -> 7.60	DP	Request	DIAGNOSIS	
5268491	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
5268498	2.62 -> 7.60	DP	Request	DIAGNOSIS	
5268500	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
5268506	2.62 -> 7.60	DP	Request	DIAGNOSIS	
5268508	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
5268515	2.62 -> 7.60	DP	Request	DIAGNOSIS	
5268517	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
5268524	2.62 -> 7.60	DP	Request	DIAGNOSIS	
5268526	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
5268532	2.62 -> 7.60	DP	Request	DIAGNOSIS	
5268534	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
5268541	2.62 -> 7.60	DP	Request	DIAGNOSIS	
5268543	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
5268550	2.62 -> 7.60	DP	Request	DIAGNOSIS	

Figura 27 – Dados anteriores à inicialização do escravo.

Verifica-se, inicialmente, que ao ligar o escravo, o mestre já reconhece que ele está inicializando e envia constantemente pedidos de diagnóstico com o intuito de estabelecer uma comunicação que somente se iniciará após a realização do *startup* completo e padrão do protocolo conforme pode ser visto na Figura 28.

A3_b_Puwer_Supply_Dados.rpb

Instant Recording

No.	Address	Prot	Primitive	Service	Data
5275473	2.62 -> 7.60	DP	Request	DIAGNOSIS	
5275475	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
5275623	2.62 <- 7.60	DP	Response	DIAGNOSIS	02 05 00 FF AF FE
5275625	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
5275632	2.62 -> 7.61	DP	Request	SET PARAMETERS	B8 05 07 0B AF FE...
5275633	2.62 <- 7.61	FDL	Response	SC	
5275635	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
5275642	2.62 -> 7.62	DP	Request	CHECK CONFIG	42 00 00 01 42 00...
5275643	2.62 <- 7.62	FDL	Response	SC	
5275645	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
5275653	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
5275664	2.62 -> 7.60	DP	Request	DIAGNOSIS	
5275665	2.62 <- 7.60	DP	Response	DIAGNOSIS	02 0C 00 02 AF FE
5275668	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
5275677	2.62 -> 7.60	DP	Request	DIAGNOSIS	
5275678	2.62 <- 7.60	DP	Response	DIAGNOSIS	00 0E 00 02 AF FE
5275680	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
5275687	2.62 -> 7.60	DP	Request	DIAGNOSIS	
5275688	2.62 <- 7.60	DP	Response	DIAGNOSIS	00 0E 00 02 AF FE
5275690	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
5275699	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
5275710	2.62 -> 7.60	DP	Request	DIAGNOSIS	
5275711	2.62 <- 7.60	DP	Response	DIAGNOSIS	00 0C 00 02 AF FE
5275713	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
5275721	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
5275732	2 -> 7	DP	Request	DATA EXCHANGE	00 00 00 00 00 00...
5275733	2 <- 7	DP	Response	DATA EXCHANGE	01 01 00 00 00 00...
5275735	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
5275742	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	

Figura 28 – Dados de inicialização do escravo.

Verifica-se, nesse ponto, a não ocorrência de falhas na comunicação e o início completo da troca de dados cíclica.

2.3.3) Desligamento e Ligação da Tensão de Alimentação no Mestre

Mais uma vez trabalhando com a tensão de alimentação, observa-se agora o comportamento do escravo em teste com relação ao desligamento e religamento da alimentação do mestre. Para essa análise, utilizou-se outra vez uma rede formada por um mestre classe 1 e um escravo.

Trabalhou-se, de maneira inicial com a rede em operação cíclica. A partir dela, desligou-se o mestre sendo obtido o seguinte resultado apresentado na Figura 29.

A3_c_Dados.rpb

Instant Recording

No.	Address	Prot	Primitive	Service	Data
8900214	2 <- 7	DP	Response	DATA EXCHANGE	01 01 00 00 00 00 00 00
8900216	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
8900223	2 -> 7	DP	Request	DATA EXCHANGE	01 01 00 00 00 00 00 00
8900224	2 <- 7	DP	Response	DATA EXCHANGE	01 01 00 00 00 00 00 00
8900226	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
8900233	2 -> 7	DP	Request	DATA EXCHANGE	01 01 00 00 00 00 00 00
8900234	2 <- 7	DP	Response	DATA EXCHANGE	01 01 00 00 00 00 00 00
8900236	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
8900243	2 -> 7	DP	Request	DATA EXCHANGE	01 01 00 00 00 00 00 00
8900244	2 <- 7	DP	Response	DATA EXCHANGE	01 01 00 00 00 00 00 00
8900246	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
8900252	2 -> 7	DP	Request	DATA EXCHANGE	01 01 00 00 00 00 00 00
8900253	2 <- 7	DP	Response	DATA EXCHANGE	01 01 00 00 00 00 00 00
8900255	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
8900262	2 -> 7	DP	Request	DATA EXCHANGE	01 01 00 00 00 00 00 00
8900263	2 <- 7	DP	Response	DATA EXCHANGE	01 01 00 00 00 00 00 00
8900265	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
8900266	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
8900268	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
8900281	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
8900292	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
8900304	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
8900317	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
8900330	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
8900342	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
8900354	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	

Figura 29 – Desligamento do mestre.

O início do desligamento do mestre causa, em primeiro lugar, um corte na comunicação cíclica do mesmo com o escravo, verificando-se apenas telegramas de *token* até um último telegrama de *global control* enviado a todos os escravos e contendo uma mensagem de *clear* para apagar as saídas de todos eles (mostrado na Figura 30).

Posteriormente, com o religamento do mestre, a comunicação é retomada e após uma nova inicialização, mestre e escravo voltam ao estado de troca de dados conforme visto na Figura 30 e especificado em [2].

A3_c_Dados.rpb

Instant Recording

No.	Address	Prot	Primitive	Service	Data
8923265	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
8923276	2.62->127.58	DP	Request	GLOBAL CONTROL	02 00
8923278	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
8923286	2.62 -> 7.60	DP	Request	DIAGNOSIS	
8923287	2.62 <- 7.60	DP	Response	DIAGNOSIS	02 05 00 FF AF FE
8923289	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
8923296	2.62 -> 7.61	DP	Request	SET PARAMETERS	B8 05 07 0B AF FE 00...
8923297	2.62 <- 7.61	FDL	Response	SC	
8923299	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
8923306	2.62 -> 7.62	DP	Request	CHECK CONFIG	42 00 00 01 42 00 00...
8923307	2.62 <- 7.62	FDL	Response	SC	
8923309	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
8923317	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
8923328	2.62 -> 7.60	DP	Request	DIAGNOSIS	
8923329	2.62 <- 7.60	DP	Response	DIAGNOSIS	02 0C 00 02 AF FE
8923331	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
8923338	2.62 -> 7.60	DP	Request	DIAGNOSIS	
8923339	2.62 <- 7.60	DP	Response	DIAGNOSIS	00 0E 00 02 AF FE
8923341	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
8923349	2.62 -> 7.60	DP	Request	DIAGNOSIS	
8923350	2.62 <- 7.60	DP	Response	DIAGNOSIS	00 0E 00 02 AF FE
8923352	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
8923360	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
8923372	2.62 <- 7.60	DP	Response	DIAGNOSIS	00 0C 00 02 AF FE
8923374	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
8923381	2 -> 7	DP	Request	DATA EXCHANGE	
8923382	2 <- 7	DP	Response	DATA EXCHANGE	01 01 00 00 00 00 00 00
8923384	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	

Figura 30 – Religamento do mestre.

2.3.4) Recursos Opcionais

De acordo com [2], além da transferência de dados com as estações associadas, executadas de maneira cíclica e automática, o mestre pode enviar, de forma opcional a cada fabricante, comandos de controle a um único escravo, a um grupo ou a todos os escravos de maneira simultânea. Dentre esses comandos estão as funções de sincronização de dados *Sync* e *Freeze*.

O modo *Sync*, apresenta-se como uma função sob a qual o escravo, ao receber um comando do mestre, congela suas saídas em seus estados atuais. Durante as transmissões de dados subseqüentes, no entanto, os dados de saída são armazenados nos escravos porém a saída física não se altera até que um próximo comando da mesma natureza seja recebido. Este modo só se encerra com o recebimento de um comando *Unsync*.

O modo *Freeze*, por sua vez, também é um comando enviado pelo mestre a um único escravo, grupo de escravos ou todos simultaneamente, porém nesse caso, ao invés das saídas serem congeladas no valor atual, são as entradas que o fazem sendo que os dados de entrada não são atualizados novamente até que um próximo comando deste seja enviado. Este modo é concluído com um comando de *Unfreeze*.

Em outra instância, tem-se como opcional ao protocolo, além das funções de comando apresentadas, o estado de falha seguro chamado *Fail Safe* sob o qual o escravo possui dados de saída predefinidos se após monitorar o tempo de resposta do mestre, verificar que este ultrapassou um limite de tempo máximo (*watchdog time).*

Segundo [2], o teste de certificação para um escravo que possua essas características, de maneira inicial, deve verificar a correta identificação e apresentação dos modos suportados no arquivo GSD conforme exemplificado na Figura 31. A partir disso, observa-se, pelos valores em *1* dos parâmetros *FREEZE_MODE_SUPP, SYNC_MODE_SUPP* e *FAIL_SAFE* que o escravo representado pelo GSD em questão suporta todos os modos opcionais descritos.

```
;===================================================
;==== Slave specific values ========================
;===================================================

OrderNumber="PA006300, PA7062"
Slave_Family = 3@profichip GmbH@EvaKit_ATMEL89C5132
Implementation_Type = "VPC3+"
Info_Text="PROFICHIP: PROFIBUS DPV1 - slave, (only
Bitmap_Device = "DPV1_1N"
Bitmap_SF="DPV1_1S"

Freeze_Mode_supp=1
Sync_Mode_supp=1
Fail_Safe=1
Auto_Baud_supp=1
Set_Slave_Add_supp=0
```

Figura 31 – Funções *Sync*, *Freeze* e *Fail Safe* no arquivo GSD.

Além disso, deve-se verificar o comportamento do escravo quando recebe as mensagens de comando observando a troca de dados na rede, por exemplo [2]. Essas mensagens, no entanto, são mensagens de *Global Control* formadas em seu campo de dados por dois bytes que contém dados em hexadecimal sendo o menos significativo o que indica o tipo de função a ser ativada e o segundo e mais significativo, o qual indica o número do grupo a ser endereçado o comando conforme visto na Figura 32 (Fonte: [8]).

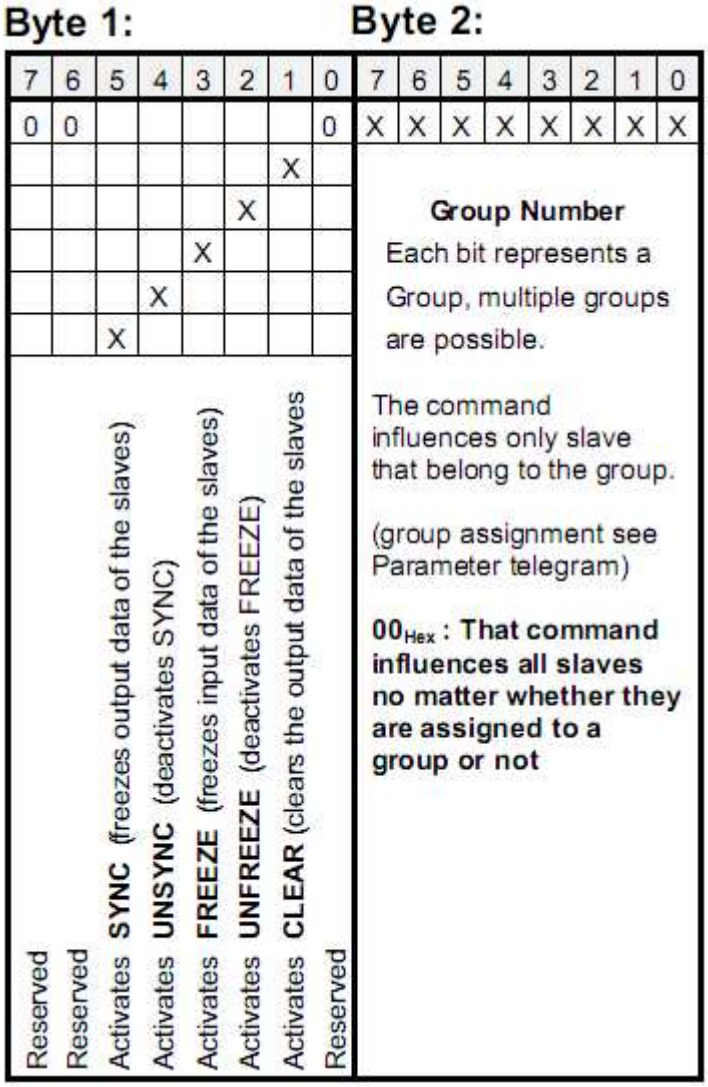


Figura 32 – Campo de dados do telegrama de *Global Control*.

Quando o telegrama de controle é recebido pelo escravo ou grupo de escravos, o mesmo deve ser reconhecido e executar a função requisitada imediatamente. Além disso, o bit correspondente ao tipo de função deve ser selecionado no campo de dados (*byte* 2) do telegrama de diagnóstico do escravo, conforme pode ser visto na Figura 33 (Fonte: [8]).

Byte(Octet) 1:								Byte (Octet) 2:								Byte (Octet) 3:								Byte (Octet) 4:
7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0	
							M								X		0	0	0	0	0	0	0	
						x								X		x								
					x								1											
				x								X												
			x								X													
		M								X														
	X								0															
M								M																
Slave is locked/controlled from another Master (set by Master)	**Prm_Fault** Slave did not accept last parameter data	**Invalid Slave Response** (set by master)	**Slave does not support requested parameter function**	Slave has **extended Diag** data to report an error	**Config_Fault:** slave did not accept last config data	**Station not ready for Data_exchange**	**Station not existent** (Set by master if slave does not respond)	**Slave is deactivated** in master parameter set (set by master)	Reserved	Slave is in **SYNC mode** (1= ON ; 0=OFF)	Slave is in **FREEZE mode** (1= ON ; 0=OFF)	**Response monitoring/ Watchdog ON** (1=ON ; 0=OFF)	**Always set to 1**	**Static diagnostic:** Master requesting diag until bit is reset	**Slave must be parameterised**	**Diag overflow:** Has more diag data as it can report	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	

Figura 33 – *Bytes* iniciais do campo de dados do telegrama de diagnóstico.

Com uma programação adequada e uma rede formada por um mestre e um escravo é possível testar essas funções observando-se o comportamento do dispositivo com relação ao recebimento dos telegramas de controle.

RS485

Instant Recording

No.	Address	Prot	Primitive	Service	Data
9242521	2 -> 2	FDL	Request	FDL STATUS	
9242522	2 -> 2	FDL	Request	FDL STATUS	
9242523	2 -> 3	DP	Request	DATA EXCHANGE	F0 00 00 00 00 00 00 00
9242524	2 <- 3	DP	Response	DATA EXCHANGE	F1 00 00 00 00 00 00 00
9242525	2 -> 43	FDL	Request	FDL STATUS	
9242526	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
9242527	2 -> 2	FDL	Request	FDL STATUS	
9242528	2 -> 2	FDL	Request	FDL STATUS	
9242529	2 -> 2	FDL	Request	FDL STATUS	
9242530	2 -> 2	FDL	Request	FDL STATUS	
9242531	2 -> 2	FDL	Request	FDL STATUS	
9242532	2 -> 2	FDL	Request	FDL STATUS	
9242533	2.62 -> 127.58	DP	Request	GLOBAL CONTROL	08 01
9242534	2 -> 3	DP	Request	DATA EXCHANGE	F0 00 00 00 00 00 00 00
9242535	2 <- 3	DP	Response	DATA EXCHANGE	F1 00 00 00 00 00 00 00
9242536	2 -> 44	FDL	Request	FDL STATUS	

Figura 34 – Telegrama de *Freeze*.

RS485

Instant Recording

No.	Address	Prot	Primitive	Service	Data
9291523	2 -> 2	FDL	Request	FDL STATUS	
9291524	2 -> 2	FDL	Request	FDL STATUS	
9291525	2 -> 2	FDL	Request	FDL STATUS	
9291526	2 -> 2	FDL	Request	FDL STATUS	
9291527	2 -> 2	FDL	Request	FDL STATUS	
9291528	2 -> 2	FDL	Request	FDL STATUS	
9291529	2 -> 3	DP	Request	DATA EXCHANGE	F0 00 00 00 00 00 00 00
9291530	2 <- 3	DP	Response	DATA EXCHANGE	F0 00 00 00 00 00 00 00
9291531	2.62 -> 127.58	DP	Request	GLOBAL CONTROL	04 01
9291532	2 -> 24	FDL	Request	FDL STATUS	
9291533	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
9291534	2 -> 2	FDL	Request	FDL STATUS	
9291535	2 -> 2	FDL	Request	FDL STATUS	
9291536	2 -> 2	FDL	Request	FDL STATUS	
9291537	2 -> 3	DP	Request	DATA EXCHANGE	F0 00 00 00 00 00 00 00
9291538	2 <- 3	DP	Response	DATA EXCHANGE	F0 00 00 00 00 00 00 00
9291539	2 -> 25	FDL	Request	FDL STATUS	
9291540	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
9291541	2 -> 2	FDL	Request	FDL STATUS	
9291542	2 -> 2	FDL	Request	FDL STATUS	
9291543	2 -> 2	FDL	Request	FDL STATUS	
9291544	2 -> 2	FDL	Request	FDL STATUS	

Figura 35 – Telegrama de *Unfreeze*.

As Figuras 34 e 35, mostradas anteriormente, exibem respectivamente os telegramas de *Freeze* e *Unfreeze* trocados em uma rede. Nesse caso, foi possível observar o correto

funcionamento deste modo pela tentativa manual de alteração das entradas do escravo, sendo que as mesmas não se alteraram. A verificação da funcionalidade se completa, ainda, a partir da análise dos dados de diagnóstico após cada comando, conforme comentado anteriormente. Para os telegramas de *Sync*, o processo de análise pode ser o mesmo, porém, observando-se o congelamento das saídas além do correto diagnóstico. Pela proximidade de informações e semelhança de método, esse processo não será demonstrado.

Com relação ao estado de *fail safe*, no entanto, deve ser executado se um telegrama de *clear* ou de troca de dados com tamanho nulo for recebido pelo escravo. Além disso, o estado de segurança para o qual o escravo irá se voltar deve estar claramente definido em sua documentação [2]. Para o caso em questão, essa funcionalidade não foi ativada no dispositivo em teste, portanto, não será demonstrada.

2.3.5) Diagnósticos

A mensagem de diagnóstico é utilizada pelo mestre para obter informações do escravo com relação a seu estado. Durante a inicialização, por exemplo, o mestre pede informação de diagnóstico ao escravo antes de mandar o telegrama de parametrização e, antes de entrar em troca de dados. Dentre as funções básicas desse tipo de telegrama estão a determinação da ocorrência de falhas na aceitação da configuração ou parametrização [3].

Em se tratando da estrutura do telegrama de diagnóstico, este possui forma padrão quando transmitido pelo escravo como resposta ao pedido do mestre, com cabeçalho, área de dados e delimitação de finalização, conforme estruturado na Tabela 11. Quando enviado pelo mestre, no entanto, essa mensagem não possui campo de dados, pois é apenas uma solicitação de diagnóstico. Essa estrutura está ilustrada na Tabela 12.

Tabela 11 – Estrutura do telegrama de diagnóstico (escravo).

SD	LE	LEr	SDr	DA	SA	FC	DSAP	SSAP	PDU	FCS	ED
68h	xx	xx	xx	xx	xx	xx	3Eh	3Ch	xx	xx	16h

Fonte: [7]

Tabela 12 – Estrutura do telegrama de diagnóstico (mestre).

SD	LE	LEr	SDr	DA	SA	FC	DSAP	SSAP	FCS	ED
68h	xx	xx	xx	xx	xx	xx	3Ch	3Eh	xx	16h

Fonte: [7]

A informação de diagnóstico, a qual se apresenta na unidade de dados do telegrama (PDU), consiste de seis bytes, que são obrigatórios a todo escravo, e outras informações opcionais provenientes do fabricante que são divididas em três blocos diferentes classificadas em informações relacionadas ao dispositivo, módulo e canal sendo que o tamanho total do campo de dados é limitado a 244 bytes, conforme pode ser verificado na Figura 36, [8].

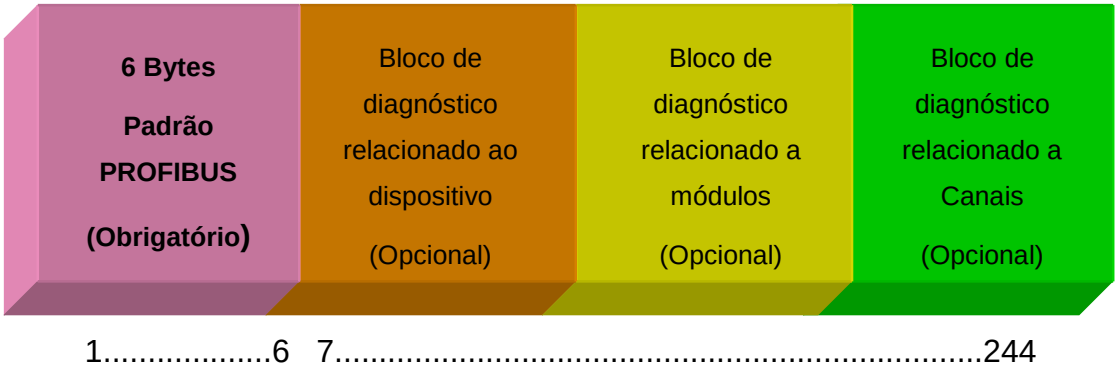


Figura 36 – Área de dados (PDU) do telegrama de diagnóstico.

Para o teste em questão, segundo [2], deve-se verificar inicialmente a estrutura básica do telegrama com os bytes de padrão iniciais e seu comportamento em diferentes situações de erro observando, além das informações específicas de cada escravo, a estrutura de *bits* de cada campo.

Se o escravo utiliza dados de diagnóstico estendidos, estes devem ser correspondentes com as entrada no arquivo GSD e descritos corretamente de acordo com o padrão. Além disso, devem estar especificados no manual de descrição do produto, o qual será utilizado para testar o mesmo [2].

A seguir ilustra-se na Figura 37 a leitura de dado de diagnóstico simples a partir de um analisador de rede no processo de inicialização de uma rede formada por um escravo e um mestre classe 1.

Address	Primit	Service	Data
2 -> 2	Request	TOKEN	
2.62 -> 7.60	Request	DIAGNOSIS	
2.62 <- 7.60	Resp...	DIAGNOSIS	02 05 00 FF AF FE
2 -> 2	Request	TOKEN	
2.62 -> 7.61	Request	SET PARAMETERS	B8 05 07 0B AF FE 00 C4...
2.62 <- 7.61	Resp...	SC	
2 -> 2	Request	TOKEN	
2.62 -> 7.62	Request	CHECK CONFIG	42 00 00 01 42 00 00 02...
2.62 <- 7.62	Resp...	SC	
2 -> 2	Request	TOKEN	
2 -> 2	Request	TOKEN	
2.62 -> 7.60	Request	DIAGNOSIS	
2.62 <- 7.60	Resp...	DIAGNOSIS	02 0C 00 02 AF FE
2 -> 2	Request	TOKEN	
2.62 -> 7.60	Request	DIAGNOSIS	
2.62 <- 7.60	Resp...	DIAGNOSIS	00 0E 00 02 AF FE
2 -> 2	Request	TOKEN	
2.62 -> 7.60	Request	DIAGNOSIS	
2.62 <- 7.60	Resp...	DIAGNOSIS	00 0E 00 02 AF FE
2 -> 2	Request	TOKEN	
2 -> 2	Request	TOKEN	
2.62 -> 7.60	Request	DIAGNOSIS	
2.62 <- 7.60	Resp...	DIAGNOSIS	00 0C 00 02 AF FE
2 -> 2	Request	TOKEN	
2 -> 7	Request	DATA EXCHANGE	00 00 00 00 00 00 00 00
2 <- 7	Resp...	DATA EXCHANGE	01 01 00 00 00 00 00 00

Figura 37 – Dados de inicialização do escravo na rede.

A partir da Tabela 13 até a Tabela 16, pode-se verificar os dados de diagnóstico anteriores seguidos de suas interpretações, com base em [8], para melhor entendimento:

Tabela 13 – Telegrama de diagnóstico (1).

Byte	Dado	Significado
0	02	Escravo não está pronto para troca de dados;
1	05	Escravo deve ser parametrizado;
2	00	Não houve *overflow* de dados;
3	FF	Nenhum mestre fez a parametrização do escravo;
4	AF	Identificação do escravo;
5	FE	Identificação do escravo.

Tabela 14 – Telegrama de diagnóstico (2).

Byte	Dado	Significado
0	02	Escravo não está pronto para troca de dados.
1	0C	*Watchdog time* ativo.
2	00	Não houve *overflow* de dados.
3	FF	Nenhum mestre fez a parametrização do escravo.
4	AF	Identificação do escravo.
5	FE	Identificação do escravo.

Tabela 15 – Telegrama de diagnóstico (3).

Byte	Dado	Significado
0	00	Escravo está pronto para troca de dados.
1	0E	Bit de diagnóstico estático e Monitoramento de resposta estão em nível lógico *1*.
2	00	Não houve *overflow de* dados.
3	FF	Nenhum mestre fez a parametrização do escravo.
4	AF	Identificação do escravo.
5	FE	Identificação do escravo.

Tabela 16 – Telegrama de diagnóstico (4).

Byte	Dado	Significado
0	00	Escravo está pronto para troca de dados;
1	0C	*Watchdog* time ativo;
2	00	Não houve *overflow* de dados;
3	FF	Nenhum mestre fez a parametrização do escravo;
4	AF	Identificação do escravo.
5	FE	Identificação do escravo.

O escravo utilizado em questão não possui dados específicos e estendidos de diagnóstico sendo que a análise fica restrita aos bytes iniciais e padrões do protocolo.

2.3.6) Teste de Dispositivos Modulares

Muitos dispositivos desenvolvidos sob a tecnologia PROFIBUS DP são criados para possuir algumas funções distribuídas em módulos. Esses módulos, por sua vez, podem ser tanto em *hardware* quanto em *software*. A partir disso, os tipos de escravos que se encaixam em cada uma das modulações citadas podem suportar um número enorme de combinações de dados instantâneos devido à permutação entre os dados dos compartimentos modulados. Com base nisso e de acordo com [2], para a certificação desse tipo de dispositivo escravo, deve-se observar:

- Diferentes módulos com a mesma estrutura de entradas e saídas devem ser representados pelo módulo mais abrangente.
- Teste de máxima configuração de entradas e saídas, com o número máximo e mínimo de módulos como descrito no GSD.
- Teste adicional com configurações aleatórias.
- Testes excedendo os tamanhos de dados de entrada e saída e quantidade de módulos permitidos.
- Testes com a configuração de módulos inexistentes e não especificados no GSD.

Para a realização deste teste, foi utilizada uma rede formada por um mestre classe 1 configurado junto de um escravo PROFIBUS DP. Este escravo, conforme pode ser verificado na Figura 38, possui 6 módulos distribuídos por SLOT. O primeiro e o segundo deles são entradas digitais (chaves) de 8 bits sendo que o terceiro e o quarto são saídas (LED), também de 8 *bits* cada. O quinto SLOT, no entanto, apresenta-se como um módulo de entradas e saídas virtuais de 32 bits. Essas entradas e saídas não possuem significado físico em hardware, apenas trabalham com memória virtual no sistema. Já o sexto SLOT, no entanto, é um contador de 16 bits, conforme indicado.

(3) DPV0AFFE

Slot	D	Order Number / Designation	I Address	Q Address	Comment
1	66	DI8 (PORT1)	0		
2	66	DI8 (PORT2)	1		
3	130	DO8 (PORT1 LED)		0	
4	130	DO8 (PORT2 LED)		1	
5	193	DIO32	2...5	2...5	
6	193	Counter 16bit	6...7	6...7	

Figura 38 – Módulos do escravo no programa configurador.

Observando-se, ainda o arquivo GSD desse escravo, conforme a Figura 39, pode-se perceber, pelos valores dos parâmetros indicados e com base em [5] que existe a modulação do escravo (*Modular_Station = 1)*, o número máximo de módulos permitidos é de 6 (*Max_Module = 6)*, o tamanho máximo dos dados de entrada e saída é de 8 bytes (*Max_Input_Len=8* e *Max_Output_Len=8*) e o valor máximo do tamanho dos dados de entrada e saída deve ser de 16 bytes (*Max_Data_Len=16*).

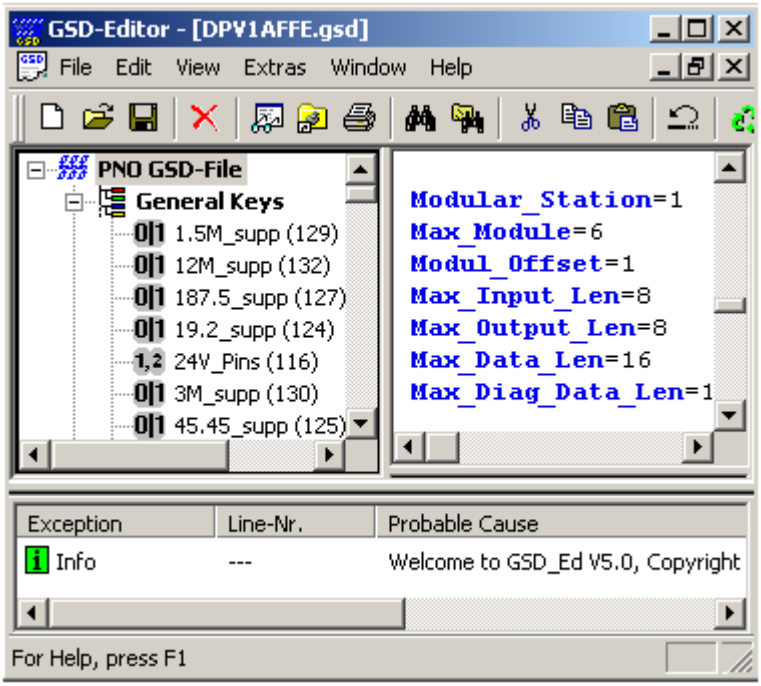


Figura 39 – Segmento do arquivo GSD do escravo.

Baseando-se nessas informações e nas orientações dispostas em [2], fez-se inicialmente a configuração do sistema com o número mínimo de módulos. A partir disso, foram obtidos os dados mostrados na Figura 40 os quais mostram a não utilização dos dados enviados do mestre ao escravo e o envio de dados com valor nulo do escravo para o mestre, pela não utilização de lógica no sistema, com o uso de 8 bytes, que é a quantidade máxima para dados de saída. Para esse tipo de escravo, não é possível excluir os módulos de saída (dados que vão para o mestre), como pode ser visto, também na Figura 40.

RS485 MBP

Instant Recording

No.	Time Stamp	Prot	Address	Primiti	Service	Data
41042530	11:23:40.269271	FDL	2 -> 2	Request	TOKEN	
41042538	11:23:40.270001	FDL	2 -> 2	Request	TOKEN	
41042549	11:23:40.270765	DP	2 -> 3	Request	DATA ...	
41042550	11:23:40.270817	DP	2 <- 3	Resp...	DATA ...	00 00 00 00 00 00 00 00
41042552	11:23:40.271221	FDL	2 -> 2	Request	TOKEN	
41042561	11:23:40.272022	FDL	2 -> 2	Request	TOKEN	
41042572	11:23:40.272786	DP	2 -> 3	Request	DATA ...	
41042573	11:23:40.272838	DP	2 <- 3	Resp...	DATA ...	00 00 00 00 00 00 00 00
41042575	11:23:40.273251	FDL	2 -> 2	Request	TOKEN	
41042582	11:23:40.273730	DP	2 -> 3	Request	DATA ...	

Figura 40 – Troca de dados com número mínimo de módulos.

Com o intuito de verificar o máximo de dados trocados entre mestre e escravo, no entanto, criou-se uma nova configuração na rede utilizando-se todos os módulos, tanto de entrada quanto de saída. O resultado pode ser verificado pela Figura 41 adiante, sob a qual se pode observar todos os módulos ativos e a quantidade máxima de dados utilizados em 16 bytes, sendo estes, 8 de entrada e 8 de saída, conforme especificado no GSD.

RS485 MBP

Instant Recording

No.	Prot	Address	Primiti	Service	Data
170939659	FDL	2 -> 2	Request	TOKEN	
170939666	DP	2 -> 7	Request	DATA ...	FF FF FF FF FF C4 01 00
170939667	DP	2 <- 7	Resp...	DATA ...	FF FF FF FF FF C4 04 FC
170939669	FDL	2 -> 2	Request	TOKEN	
170939676	DP	2 -> 7	Request	DATA ...	FF FF FF FF FF C4 01 00
170939677	DP	2 <- 7	Resp...	DATA ...	FF FF FF FF FF C4 04 FC
170939679	FDL	2 -> 2	Request	TOKEN	

Figura 41 – Troca de dados com número máximo de módulos (1).

Dando continuidade ao teste, foi feito uma nova configuração de caráter aleatório para verificar o comportamento da troca de dados, segundo a Figura 42. Nessa configuração, utiliza-se apenas módulos de entradas e saídas digitais. Pode-se observar, todavia que a troca de dados do escravo com o mestre ocorre de maneira correta e a quantidade de dados trocadas está dentro dos limites especificados.

RS485 MBP

Instant Recording

No.	Prot	Address	Primiti	Service	Data
181956785	DP	2 -> 7	Request	DATA ...	00 FF 00 00 00 00 00 00
181956786	DP	2 <- 7	Resp...	DATA ...	01 FF 00 00 00 00 00 00
181956788	FDL	2 -> 2	Request	TOKEN	
181956794	DP	2 -> 7	Request	DATA ...	00 FF 00 00 00 00 00 00
181956795	DP	2 <- 7	Resp...	DATA ...	01 FF 00 00 00 00 00 00
181956797	FDL	2 -> 2	Request	TOKEN	

Figura 42 – Troca de dados com número aleatório de módulos (2).

Com relação aos testes voltados a exceder a quantidade de módulos e utilização de módulos inexistentes, nesse caso, devido ao escravo ser modulado em software, não há possibilidade de se fazer pois a ferramenta de configuração de rede não permite a inserção desse tipo de particularidade que estaria mais voltada a dispositivos que possuem módulos em *hardware*.

As especificações de testes presentes em [2] exigem, também, que todas as possibilidades de combinação entre os diferentes módulos sejam utilizadas, porém, como o intuito deste trabalho é apenas demonstrar os testes, as outras possibilidades não serão apresentadas para esse caso.

2.4) Interoperabilidade

2.4.1) Teste de Carregamento

O teste em questão visa verificar a operação do equipamento na máxima freqüência de amostragem suportada por ele. Essa freqüência é atingida quando o dispositivo em teste é operado como uma única estação além do mestre na rede, configurado com a sua maior taxa de transmissão aceita e submetido a um programa simples configurado no mestre [2].

Como parte do teste, então, é necessário verificar se o escravo pode suportar a freqüência de amostragem citada e sua reação na rede para essa circunstancia. Além disso, deve ser observado se o mestre respeita o tempo de *Min_Slave_Intervall* descrito no arquivo GSD. Esse tempo, segundo [6], diz respeito ao período entre dois acessos de um mestre ao mesmo escravo.

A4_a_Load_Test_Anly.rpb

Instant Recording

Time Stamp	Address	Primitiv	Service	Data
10:53:02.546809	2.62 -> 7.60	Request	DIAGNOSIS	
10:53:02.546821	2.62 <- 7.60	Response	DIAGNOSIS	02 05 00 FF AF FE
10:53:02.546951	2 -> 2	Request	TOKEN	
10:53:02.547805	2.62 -> 7.61	Request	SET PARAMETERS	B8 03 04 0B AF FE 00...
10:53:02.547836	2.62 <- 7.61	Response	SC	
10:53:02.547952	2 -> 2	Request	TOKEN	
10:53:02.548806	2.62 -> 7.62	Request	CHECK CONFIG	42 00 00 01 42 00 00...
10:53:02.548840	2.62 <- 7.62	Response	SC	
10:53:02.548956	2 -> 2	Request	TOKEN	
10:53:02.549810	2.62 -> 7.60	Request	DIAGNOSIS	
10:53:02.549822	2.62 <- 7.60	Response	DIAGNOSIS	02 0C 00 02 AF FE
10:53:02.549952	2 -> 2	Request	TOKEN	
10:53:02.550903	2 -> 2	Request	TOKEN	
10:53:02.551807	2.62 -> 7.60	Request	DIAGNOSIS	
10:53:02.551819	2.62 <- 7.60	Response	DIAGNOSIS	02 0E 00 02 AF FE
10:53:02.551949	2 -> 2	Request	TOKEN	
10:53:02.552803	2.62 -> 7.60	Request	DIAGNOSIS	
10:53:02.552815	2.62 <- 7.60	Response	DIAGNOSIS	00 0E 00 02 AF FE
10:53:02.552945	2 -> 2	Request	TOKEN	
10:53:02.553799	2.62 ->127.58	Request	GLOBAL CONTROL	00 00
10:53:02.553976	2 -> 2	Request	TOKEN	
10:53:02.554805	2.62 -> 7.60	Request	DIAGNOSIS	
10:53:02.554817	2.62 <- 7.60	Response	DIAGNOSIS	00 0C 00 02 AF FE
10:53:02.554855	2 -> 2	Request	TOKEN	
10:53:02.555907	2 -> 2	Request	TOKEN	
10:53:02.556799	2 -> 7	Request	DATA EXCHANGE	00 00 00 00 00 00 00 00
10:53:02.556816	2 <- 7	Response	DATA EXCHANGE	01 01 00 00 00 00 00 00
10:53:02.556946	2 -> 2	Request	TOKEN	
10:53:02.557897	2 -> 2	Request	TOKEN	
10:53:02.558801	2 -> 7	Request	DATA EXCHANGE	00 00 00 00 00 00 00 00
10:53:02.558819	2 <- 7	Response	DATA EXCHANGE	01 01 00 00 00 00 00 00

Figura 43 – Troca de dados à taxa de transmissão máxima aceita pelo escravo.

De maneira ilustrativa, foi criada uma rede com um escravo a ser testado e um mestre, de acordo com o mencionado anteriormente. A partir da máxima taxa de comunicação aceita pelo dispositivo escravo, que nesse caso era de 12 Mbit/s, conforme o GSD, pode-se observar na Figura 43, os dados trocados durante a inicialização da rede. Esses dados, por sua vez, mostram a correta operação do escravo à taxa de comunicação descrita e além disso, é possível verificar o *Min_Slave_Intervall* fazendo-se a subtração entre dois tempos de acesso consecutivos do mestre ao escravo, resultando em média 2,002ms. Esse valor, de acordo com o GSD do escravo é maior do que o tempo especificado de 0,6ms, o que valida a operação do dispositivo.

2.5) Testes não Realizados

O Trabalho em questão foi desenvolvido com base em [2] em sua versão 2.3 de março de 2004. Atualmente, no entanto, esse documento está em sua versão 3.9 e possui algumas alterações somente no que diz respeito à quantidade de testes necessários a certificação de um escravo PROFIBUS DP. Dessa forma, os testes aqui apresentados, excluindo o teste de carregamento o qual foi retirado da norma, se mantiveram com as mesmas especificações e portanto são válidos. A Tabela 17 adiante mostra os testes que não foram expostos nesse trabalho e algumas justificativas para a não realização dos mesmos. Além disso serve como guia para trabalhos futuros.

Tabela 17 – Testes não realizados.

Teste	Categoria	Justificativa
DP *Watchdog* de acordo com a IEC 61158-5	Teste de Funcionalidade e Transmissão	Necessidade de melhores conhecimentos a respeito da alteração dos tempos do mestre utilizado
Dispositivos Combinados	Teste de Funcionalidade e Transmissão	Não foi necessário pela não utilização de dispositivo combinado
Consistência	Teste de Funcionalidade e Transmissão	Não estudado
Min_Slave_Interval	Teste de Funcionalidade e Transmissão	Não estudado
SAPs não utilizados	Teste de Funcionalidade e Transmissão	Não estudado
Parametrização do mestre (com e sem intervalo de monitoramento)	Teste de Função	Não estudado
Mestre classe tomando controle durante a operação	Teste de Função	Necessidade de dispositivo mestre classe 2

(Continua)

Teste	Categoria	Justificativa
Transição de estado	Teste de Função	Necessidade de um programa de teste específico
Comportamento perante falhas especiais	Teste de Função	Necessidade de programa ou dispositivo que possa enviar frames de dados inconsistentes com o padrão PROFIBUS
Funções I&M	Funções I&M	Não estudado
Teste Funcional	Interoperabilidade	Necessidade de muitos escravos
Compatibilidade eletromagnética e segurança elétrica	Interoperabilidade	Necessidade de equipamentos, técnicas e certificações especiais
Teste de funções	Teste de funções DP entendidas (DP-V1)	Não estudado
Teste de interoperabilidade adicional	Teste de funções DP entendidas (DP-V1)	Não estudado
Tempo de recursos adicionais	Teste de funções DP entendidas (DP-V1)	Não estudado
DXB	Teste Para Data Exchange Broadcast (DP-V2)	Não estudado
Teste de tabela de filtros	Teste Para Data Exchange Broadcast (DP-V2)	Não estudado
Verificação do Arquivo GSD (DXB)	Teste Para Data Exchange Broadcast (DP-V2)	Não estudado
Teste de interoperabilidade adicional (DXB)	Teste Para Data Exchange Broadcast (DP-V2)	Não estudado

(Continua)

Teste	Categoria	Justificativa
Modo *Isochronous* (DP-V2)	Teste para modo *Isochronous* (DP-V2)	Não estudado.
Testes adicionais	Teste para modo *Isochronous* (DP-V2)	Não estudado.

(Conclusão)

Capítulo 3

Inspeção de Redes PROFIBUS

Para a verificação de qualidade de uma rede deve-se realizar três análises importantes, ou seja, física, de protocolo e de sinal. Na primeira, de maneira sucinta, são verificadas as instalações, visando principalmente o cabeamento, os conectores, terminações e o aterramento. Com relação à análise de protocolo, por sua vez, são observadas as características dos dados trocados entre os dispositivos de diferentes tipos, enfatizando a velocidade de transmissão, endereços e erros em geral. Por último, e não menos importante, a análise de sinal se fundamenta na concepção elétrica do sinal tendo por base os níveis de tensão, as atenuações e ruídos, principalmente [9].

3.1) Análise Física

3.1.1) Cabos

Uma das primeiras observações a serem feitas com relação à parte física de uma rede de automação Industrial PROFIBUS, segundo [3], é seu cabeamento. A partir disso, cabos de comunicação devem estar separados de cabos alimentadores de tensão para evitar interferência eletromagnética, caso não haja isolação, devido a altas correntes transportadas. A Tabela 18 a seguir trata das distâncias aceitas dos cabos PROFIBUS com outros cabos:

Tabela 18 – Instalação de cabos PROFIBUS junto de outros cabos.

Cabo que será posto em paralelo com o cabo PROFIBUS	Espaço sem divisória ou com divisória não metálica [mm]	Espaço com divisória de alumínio [mm]	Espaço com partição de aço [mm]
Sinais de rede como PROFIBUS.	0	0	0
Sinais de dados digitais.	0	0	0
Sinais de entrada ou saída blindados.	0	0	0
Alimentadores Sem blindagem	200	100	50
Alimentadores Com Blindagem	0	0	0

Fonte: [3]

Caso a distância entre os cabos não seja possível de ser seguida, pode-se utilizar canaletas metálicas para suportar os cabos sendo que em cada uma deve-se colocar cabos do mesmo tipo apenas e estas podem ser arranjadas diretamente uma ao lado da outra [3]

Outra observação importante a ser feita é com relação ao aterramento na entrada dos gabinetes, sendo que cada cabo deve ter sua blindagem aterrada e conectada ao aterramento do gabinete [3].

Quando se utiliza do transporte dos cabos ao longo de diferentes prédios, as menções anteriores se fazem presentes, tomando-se sempre cuidado com aterramento e isolação. Para evitar essa preocupação, no entanto, é aconselhada a utilização de fibra óptica. Além disso, é de grande importância atentar-se a proteção mecânica para diferentes construções buscando-se evitar rompimentos de fios, curtos e degradações ao invólucro e a blindagem. Para isso, são utilizados diferentes materiais de acordo com a área de aplicação, ou seja, se os cabos forem passados fora de canaletas, em áreas de pouco stress, pode-se utilizar canos de plástico como proteção. Já em áreas de muito stress mecânico, pode-se utilizar, por exemplo conduítes de metal [3].

Outras preocupações com os cabos estão relacionadas com a temperatura e curvas na instalação. Para o caso térmico, são suportados geralmente valores entre -40℃ e +60℃, podendo variar conforme o fabricante. Com relação às curvas, deve-se tomar cuidado com a ocorrência de torções e para curvas simples, o raio permitido (cabo liso) tem que ser no mínimo dez vezes o valor do diâmetro do cabo e para curvas seguidas, vinte vezes [3].

Para cabos de fibra óptica, em decorrência, os cuidados citados até agora são aplicados e adicionam-se ainda algumas particularidades. Dentre essas, está a proteção contra sujeira. Por outro lado, para esse tipo de sistema não há interferência eletromagnética e os condutores podem trafegar junto de outros de forma bastante próxima [3].

3.1.2) Terminadores de Linha

Para uma boa transmissão de sinal, evitando-se a reflexão de onda a partir do casamento de impedâncias, é necessário terminar os segmentos de linha da rede. Os terminadores, no entanto, estão disponíveis tanto dentro de conectores quanto dentro de alguns dispositivos, porém sempre podem ser ligados ou desligados, conforme a necessidade e topologia da rede. Para tanto é importante a observação da ligação correta das terminações para não haver problema de comunicação [3].

3.1.3) Conectores

Vários tipos de conectores estão disponíveis para interligar os cabos às estações, porém alguns deles são mais comuns como o D-SUB e o M-12. O tipo D-SUB de nove pinos, mostrado na Figura 44, é utilizado, geralmente em áreas internas a gabinetes de controle enquanto o tipo M-12 ou o híbrido são usualmente utilizados para partes externas sendo a determinação do tipo de conexão depende da estação a ser ligada. Para tanto, diferentes tipos de conectores requerem técnicas de montagem e ligações específicas para as linhas de dados, conforme visto no capítulo 2.

Figura 44 – Conector D-SUB de nove pinos.

Assim como o conector M-12 de cinco pinos, o D-SUB é utilizado para a conexão entre equipamentos PROFIBUS RS-485. Os cabos nesse conector são encadeados de forma que não haja necessidade de utilização de junções tipo “T” para ramificações. Para essa razão, possuem normalmente duas ligações para cabos, sendo uma a entrada e a outra a continuação para o ramo [3].

Cada conector, entretanto, pode ser melhor montado a partir das instruções dos manuais dos fabricantes porém, algumas medidas como verificação da ordem correta de cabos de entrada e saída junto da fixação e funcionalidade da blindagem, por exemplo, são medidas cabíveis, independente da origem do componente [3].

Em se tratando do M-12, por sua vez, pode ser utilizado tanto para comunicação em PROFIBUS DP quanto em PA. A diferença está no número de pinos, ou seja, para a versão DP tem-se 5 pinos, conforme visto na Figura 45, enquanto para PA, tem-se 4 pinos. Ambos, especificados nas Tabelas 19 e 20, no entanto, são blindados e podem ser do tipo “macho” ou “fêmea” [3].

Figura 45 – Conectores tipo M-12.

Tabela 19 – Funções dos pinos para conector tipo M-12 de 5 pinos.

Pino	Função
1	Linha de dados *A*.
2	Não conectado.
3	Linha de dados *B*.
4	Não conectado.
5	Não conectado.

Fonte: [3]

Tabela 20 – Funções dos pinos para conector tipo M-12 de 4 pinos.

Pino	Função
1	*PA* +
2	Não conectado.
3	*PA* -
4	Blindagem.

Fonte: [3]

No caso da comunicação RS-485, para PROFIBUS DP, os pinos 1 e 3 podem ser utilizados por uma estação para fornecer alimentação a um terminador de rede, por exemplo e o pino 5 pode ser conectado à blindagem, mas não é recomendado [3].

Com relação à comunicação MPB, para PROFIBUS PA, no entanto, são utilizados três dos quatro pinos, conforme visto na Tabela 19. Para este tipo de aplicação, também estão disponíveis conectores do tipo *T* para ramificações. As técnicas de montagem, por sua vez, são provenientes de cada fabricante, porém devem ser tomados os mesmos cuidados relacionados ao tipo D-SUB para garantir uma comunicação confiável e segura [3].

3.1.4) Conectores Híbridos

Conectores híbridos são aqueles que suportam além dos cabos de comunicação do protocolo, a alimentação de tensão do sistema. Quando é necessária a instalação desse tipo de componente, deve-se seguir a orientação de cada fabricante utilizando as ferramentas adequadas, pois seus pinos são geralmente do tipo por aperto e para garantir conexões permanentes e de alta qualidade deve-se utilizar ferramentas especiais [10]. Um tipo comum de conector híbrido é mostrado na Figura 46 (Fonte: [10]) e esquematizado na Tabela 21.

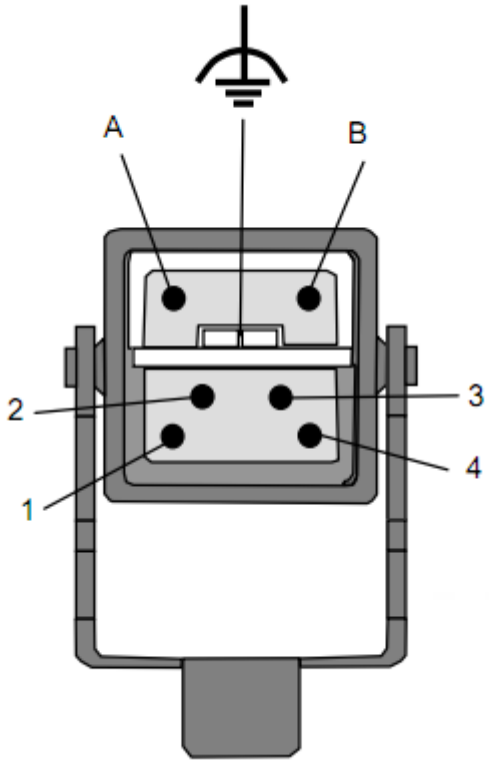


Figura 46 – Conector tipo Híbrido.

Tabela 21 – Esquema de pinos para conector Híbrido.

Pino	Uso	Descrição
1	+ 24V DC	Não chaveado.
2	Terra	Terra para o pino 1.
3	Terra	Terra para o pino 4.
4	+ 24V DC	Chaveado.
A	Linha A	-
B	Linha B	-

Fonte: [10]

3.1.5) Conexões Diretas com Estações

Algumas estações PROFIBUS proporcionam conexões diretas com os cabos. Essas conexões, por sua vez, se assemelham às dos diferentes tipos de conectores e devem ter os mesmos cuidados para instalação e manutenção. Dessa forma, deve-ser observar a

correta fixação do cabo sem deixar sobras em comprimentos, não inverter os fios e isolar ao máximo a ligação para prevenção contra umidade e sujeira [3]

3.1.6) Cabos Flexíveis

Algumas redes PROFIBUS possuem equipamentos que se movimentam constantemente. Para esse tipo de aplicação, no entanto, são utilizados cabos flexíveis ao invés de fios maciços [3]. Esse tipo de instalação, por sua vez, necessita de alguns cuidados especiais como, por exemplo, a utilização de ponteiras de cobre nas conexões para evitar o espalhamento dos filamentos e curtos-circuitos. Outras orientações, segundo [3], como deixar o extremo da ponteira rente ao corte do cabo para evitar mau contato, não torcer os fios e utilizar alicates próprios para a instalação, são importantes e estão ilustradas na Figura 47 (Fonte: [3]).

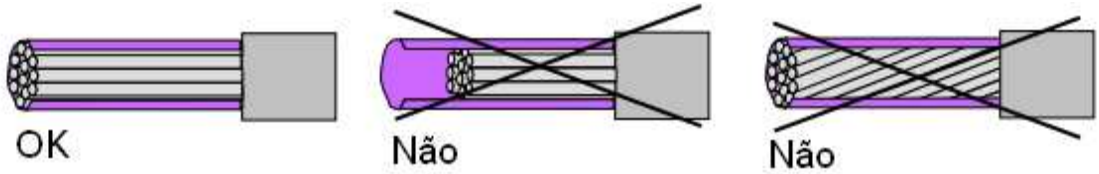


Figura 47 – Instalação de ponteiras de cobre para cabos flexíveis.

3.1.7) Cabos de Fibra Óptica

Os cabos de fibra óptica que são mais comuns ao protocolo PROFIBUS podem ser vistos na Tabela 22 a seguir, separados pelo tipo de fibra utilizado e comprimento de linha adequado.

Tabela 22 – Tipos de fibra óptica e seus usos.

Uso por comprimento de linha	Tipo de Fibra	Diâmetro da fibra [µm]	Comprimento de onda de operação [nm]
Acima de 100 m	Fibra óptica plástica	980/1000	650
Acima de 500 m	Fibras PCF® ou HCS®	200/230	650

(Continua)

Uso por comprimento de linha	Tipo de Fibra	Diâmetro da fibra [µm]	Comprimento de onda de operação [nm]
Acima de 3 km	Fibra multi-modo	50/125 62.5/125	860
Acima de 15 km	Fibra modo simples	10/125	1300

(Conclusão) Fonte: [3]

As fibras tipo HCS® e PCF® podem ser utilizadas na mesma interface óptica enquanto as *multi-modo* ou *modo simples* requerem sua própria interface. As observações importantes para uma instalação óptica devem se basear inicialmente na determinação do tamanho do cabo, posteriormente no dispositivo de transmissão adequado àquele tamanho e no tipo de conector adequado ao dispositivo pois a instalação de cabos de fibra óptica depende, de maneira sucinta, do tipo de fibra e do tipo de conector. Dessa forma, aquelas que possuem menor diâmetro necessitam de maior precisão na montagem [3].

3.1.8) Conectores de Fibra Óptica

Um dos conectores mais utilizados é o BFOC/2.5, mostrado na Figura 48, o qual é reconhecido mundialmente e chamado comumente de *ST Connector*. Outros conectores são disponíveis, especialmente para fibras tipo plásticas, os quais geralmente possuem um padrão mais simples e possuem instalação particularizada de acordo com seus fabricantes [3].

Figura 48 – Conector tipo BFOC/2.5.

3.1.9) Cabos de Fibra Óptica Plástica

As fibras ópticas plásticas, ilustrada na Figura 49, são relativamente maleáveis, possuem diâmetro de aproximadamente 1mm e por isso são bastante adequadas à instalação em campo. Além disso, muitos fabricantes oferecem conectores específicos a esse propósito, porém, devem sempre ser instalados com ferramentas específicas. Algumas práticas como cuidados em não dobrar ou tencionar as fibras e lixar a ponta das mesmas, são recomendadas [3].

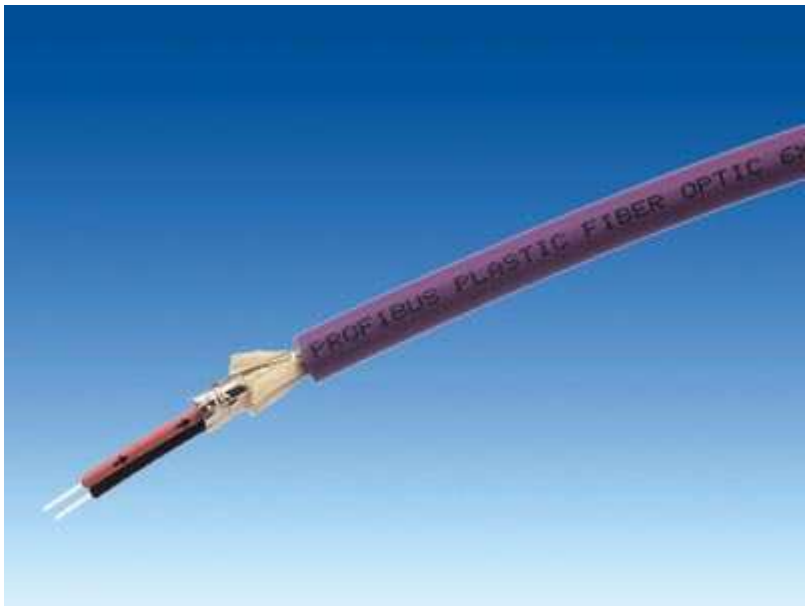


Figura 49 – Cabo de fibra óptica plástica.

3.1.10) Cabos de Fibra Óptica de Vidro

A montagem desse tipo de fibra, Figura 50, requer ferramentas especiais que são geralmente usadas com um tipo específico de conector e são oferecidas pelos fabricantes. Além disso, algumas fibras como as 50/125, 62,5/125 e 10/125 necessitam de maior precisão de montagem que deve ser seguida de acordo com a instrução do fabricante.

Figura 50 – Cabo de fibra óptica de vidro.

3.1.11) Aterramento e Ligação Equipotencial

Um terra efetivo e ligações equipotenciais são muito importantes para imunidade da rede à interferência, garantindo a eficiência e segurança na comunicação. Proporcionando aterramento a blindagem é possível minimizar a interferência eletrostática ao sistema e minimizar a queda de transmissão dos dados. Além disso, ligando os diferentes pontos da rede em regiões de mesmo potencial, previne-se a ocorrência de correntes passando dos cabos à terra [3].

3.1.12) Terra de Proteção

Esse tipo de ligação tem o propósito de proteger as pessoas que passam próximas às redes de levar um choque ao encostar, por exemplo, acidentalmente, no sistema. Além disso, protege equipamentos e maquinas de correntes de faltas. Esse sistema de proteção, por sua vez, deve fazer parte do planejamento elétrico de toda planta que possui redes PROFIBUS [3].

3.1.13) Terra Funcional

O terra funcional deve prover uma tensão zero de referência para os dispositivos onde a carcaça dos mesmos e suas blindagens devem ser ligadas com o intuito de reduzir a interferência eletrostática do sistema.

Alguns dispositivos possuem um terminal característico próprio para ser ligado a esse terra, outros, no entanto, são aterrados a partir de seus trilhos. O aterramento, por sua vez, deve ser feito utilizando-se cabos apropriados, geralmente com seção transversal maior que 2,5mm², feitos de cobre e de cor verde e amarela [3].

3.1.14) Ligação Equipotencial

A ligação equipotencial, como citado anteriormente, é utilizada para equalizar o potencial de terra em diferentes locais da planta para evitar que correntes fluam pela blindagem dos cabos PROFIBUS. Para isso, devem ser utilizados cabos de cobre ou galvanizados para aterrar tanto o sistema quanto seus componentes. Recomenda-se, também, utilizar uma superfície de conexão o quanto maior possível para se ter menor resistência, conectando todos os dispositivos, blindagens e conexões de aterramento. As superfícies de peças montadas, como gabinetes e painéis, também devem estar conectadas ao mesmo potencial do sistema. Além disso, sempre que possível, deve-se interconectar os equipotenciais da rede com o do prédio em que se encontra a mesma [3].

Com relação a peças pintadas, deve-se remover a cobertura de tinta, montar e depois proteger contra corrosão, utilizando, por exemplo, um produto anti-ferrugem.

De acordo com [3], em se tratando dos cabos de terra, no entanto, devem estar firmes em suas conexões e passados o mais próximo possível dos cabos de rede e quando ligam prédios distintos, devem possuir secções transversais mínimas conforme o tipo de material, descrito na Tabela 23.

Tabela 23 – Secção transversal mínima

Tipo de Material	Secção Transversal Mínima [mm²]
Cobre	6
Alumínio	16
Aço	50

Fonte:[3]

3.1.15) Validação da Instalação Física

Esse tipo de verificação é feito na instalação completa da rede e deve ser documentado. Para tanto, deve-se, inicialmente fazer uma avaliação visual para confirmar o correto cabeamento antes de qualquer outro tipo de teste, buscando erros como, por exemplo, degradações nos cabos, curvas e ângulos inadequados e espaçamentos insuficientes. Uma maneira eficiente de fazer essa análise, por sua vez, é utilizar uma lista de procedimentos, conforme descrita na Tabela 24, baseando-se nas normas do protocolo [10].

Tabela 24 – Exemplo de lista de procedimentos para avaliação visual da rede.

N°	Descrição
1	Houve a instalação correta dos cabos?
2	Os tipos de cabos estão de acordo com as normas?
3	O comprimento máximo das ramificações está correto?
4	Os conectores usados estão de acordo com as normas?
5	O mínimo espaçamento entre os cabos está correto?
6	Os cabos estão em ordem (sem degradação)?
7	As curvas dos cabos estão corretamente dimensionadas?
8	O cruzamento entre cabos executam o ângulo correto?
9	Apenas dois resistores de terminação estão inseridos (em cada terminação)?
10	A alimentação dos resistores de terminação estão garantidas (mesmo em caso de paradas de emergência)?
11	Bordas cortantes foram cobertas ou removidas?
12	Proteções mecânicas estão presentes em pontos de risco?
13	Ao menos um *plug* está presente na conexão com o dispositivo de programação?
14	Protetores da fiação dos dispositivos elétricos estão instalados?
15	As ligações equipotenciais estão de acordo com as normas?
16	As estações PROFIBUS possuem blindagens e estas estão conectadas às ligações equipotenciais?
17	A blindagem na entrada dos gabinetes está conectada com as ligações equipotenciais?
18	As canaletas estão aterradas?
19	Sub-montagens usadas de acordo com o plano estrutural?
20	Velocidades de transmissão e endereços estão de acordo com as normas e planejamento da rede?
21	Canais não utilizados estão corretamente inutilizados de acordo com o fabricante?
22	As medidas de tensão e corrente para sub-montagens estão de acordo com o fabricante e com as normas do protocolo?

(continua)

N°	Descrição
	Passos adicionais caso seja usados seguimentos RS485-IS
23	São usados apenas repetidores isolados?
24	A limitação de velocidade de rede está em 1.5Mbit/s?
25	Nenhum conector com indutores discretos (110nH como requerido para altas taxas de transmissão) está em uso?
26	Os dispositivos em uso são certificados?
	Passos adicionais caso seja usado PROFIsafe
27	Não há *spurs* sendo utilizados?
28	São usados apenas dispositivos certificados para PROFIsafe?

(Conclusão) Fonte:[10]

Nesse caso a lista demonstrada expõe verificações aplicadas a instalações Profibus tanto RS485 quanto MBP e fibra óptica, no entanto, o passo 13 não é requerido para PROFIBUS PA e, além disso, os passos 2, 5, 9 e 13 podem ser descartados para segmentos de fibra [10].

3.2) Análise de Protocolo

A configuração e parametrização da rede PROFIBUS envolve o uso de softwares e ferramentas específicas para cada dispositivo e fabricante, porém existem parâmetros e ações que são universais a toda rede como por exemplo a velocidade de transmissão de dados, o uso de arquivos de descrição de dispositivos, o endereçamento de cada estação e parâmetros do duto de dados. A partir disso, esse tipo de análise visa verificar esses parâmetros e o comportamento na troca de dados com relação intrínseca ao protocolo, por exemplo, a partir de um analisador de rede.

3.2.1) Velocidade de Transmissão de Dados

As altas taxas de transmissão de dados oferecem ciclos de respostas rápidos porém exigem bastante da precisão nas instalações e no comportamento da rede. Na prática, recomenda-se a utilização da menor taxa de transmissão aceitável (maior taxa de transmissão aceita pelo escravo mais lento). Essa velocidade é estabelecida pela configuração do mestre e são automaticamente ajustadas nos escravos mais modernos (ou

devem ser configuradas conforme o dispositivo). Se a taxa de comunicação não estiver corretamente estabelecida, a comunicação entre as estações não se efetua, ou seja, o escravo não consegue entrar em troca de dados cíclica. Alguns escravos, no entanto, possuem um sistema próprio de identificação de taxa de transmissão sendo que independente da configurada na rede, ele irá funcionar corretamente [10].

3.2.2) Endereçamento

É essencial que todas as estações estejam corretamente endereçadas para que haja comunicação entre mestres e escravos. Para isso, deve ser garantido que os endereços usados na ferramenta de configuração e os endereços físicos, ajustados nas próprias estações, estejam de acordo com o projeto da rede e sejam permitidos pelo protocolo. A partir disso, as estações PROFIBUS podem ter seus endereços ajustados de algumas maneiras diferentes, ou seja, por meio de uma chave binária física local, software de configuração de rede (mestre classe 2) ou utilizando-se softwares especiais (ou ferramentas especiais) de fabricantes [10].

As estações que possuem seu endereço ajustado a partir do protocolo (Função *Set_Slave_Address*) possuem, pré-estabelecido, o endereço 126. É importante, em decorrência, garantir que dois ou mais dispositivos não possuam o mesmo endereço para ser possível a comunicação [10].

3.2.3) Entradas e Saídas

A verificação dos sinais de entrada se faz necessária à correta operação da rede. Para tanto, deve-se inicialmente checar a alimentação de tensão dos sensores de acordo com a faixa especificada pelo fabricante. Depois, é preciso ativar o sensor manualmente ou simulando seu processo de operação. Posteriormente, pode-se verificar a resposta do equipamento através do programa configurado do mestre ou no próprio *display* do sensor, dependendo das possibilidades do equipamento utilizado [10].

Com relação aos sinais de saída, no entanto, pode-se proceder da mesma forma, porém necessita-se de um cuidado maior para verificar qual a melhor maneira de se ativar todas as saídas, pois podem ser causados movimentos indesejáveis de motores e atuadores, por exemplo. Encontrada a melhor possibilidade de testar a saída, deve-se verificar a amplitude do sinal de tensão de ativação e a corrente para observar se estão de acordo com o estipulado pelo fabricante e se a potência disponível foi corretamente dimensionada. Além disso, o mapa de entradas e saídas da rede deve ser analisado [10].

3.2.4) Perfil da Troca de Dados Entre os Dispositivos

Com o uso de um equipamento para análise de protocolo e escaneamento dos telegramas trocados na rede é possível estabelecer o comportamento das estações no processo de comunicação. Dessa forma, cada escravo deve ser corretamente identificado na rede, parametrizado e configurado para que se possa estabelecer uma comunicação adequada. Alem disso, utiliza-se da interpretação dos telegramas de diagnóstico para analisar o status de cada dispositivo, pois as redes PROFIBUS estão sujeitas a falhas potenciais, como por exemplo falta de energia e falhas em sensores e atuadores [10].

A informação de diagnóstico, no entanto, deve ser requerida pelo mestre. Isso é feito, inicialmente no processo de inicialização, porém, os escravos, podem avisar o mestre para requerer a informação de diagnóstico durante o processo de comunicação cíclica informando que o buffer de diagnóstico do escravo foi modificado e deve ser lido. Os dados passados, por sua vez, podem ser interpretados por ferramentas próprias ou manualmente para determinação de possíveis causas do status [10].

3.2.5) Exemplo Prático de Análise de Protocolo

Utilizando-se uma ferramenta de análise de protocolo (nesse caso está sendo utilizado o BC 400 PB – *Profibus Protocol Analyser da Softing®*), inicialmente é possível observar todos os escravos disponíveis na rede, ativos, ou não, a partir da *live list*, conforme visto na Figura 51. Além disso, observa-se o endereço de cada equipamento mais o mestre e a velocidade de transmissão de dados configurada no sistema.

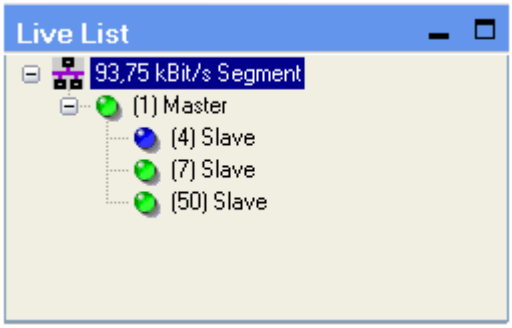


Figura 51 – *Live list*.

Posteriormente, são disponibilizadas, também, informações detalhadas sobre cada equipamento e sobre a rede. Na Figura 52 é possível verificar informações sobre os dispositivos presentes no duto de dados, configurações de velocidade e ciclo de resposta e alguns eventos ocorridos.

Info | Station Statistics | Frame Errors

Bus Devices	
Total number of Masters	1
Total number of DP Slaves	3
- thereof not answering	0
- thereof with diagnostic messages	0
Total number of non-DP devices	1
Bus-Data	
Baud Rate	93,75 kBit/s
Bus cycle Min./Avg./Max.	16,44/25,12/27,53 ms
Total Number of Events	
Retries	1
Diagnostic messages	1
Restarts	1

Bus Devices

Figura 52 – Informações sobre a rede.

Na aba de *Frame Errors*, demonstrada na Figura 53, pode-se ter uma idéia rápida do diagnóstico da rede e do tipo de ocorrência de erro, se houver.

Info | Station Statistics | Frame Errors

Bit Errors	
Spikes	0
Bit Errors	0
Parity Errors	0
Stop Bit Errors	0
Slip Errors	0
Invalid source address extension	0
Illegal destination address extension	0
Invalid Source SAP Extension	0
Illegal destination SAP extension	0
Frame Errors	
Wrong Start Delimiter	0
Wrong Frame Check Sequence	0
Wrong End Delimiter	0
Frame Too Short	0
Frame Too Long	0
Wrong Start Delimiter Repetition	0
Wrong Length Repetition	0
Wrong Sync Time	0

Spikes
A spike is defined as a signal level of locgical "0" with a duration of less than one bit time

Figura 53 – Telegramas de Erros

Além das informações da rede, em geral, pode-se ter as informações detalhadas de cada escravo tanto de endereço e parâmetros de identificação como de mensagens, parametrização, configuração e diagnóstico, mostrado na Figura 54.

Info | Cyclic I/O | Acyclic I/O | Parameters | Configuration | Diagnosis | Statistics

Identification	
Station Type	"Slave"
Station Address	7
Vendor	
Model	
GSD File	
Expected Ident Number	AFFE
Real Ident Number	AFFE
State	
State	Data Exchange
Related Master	1
Quality Value	100
Last Bus Cycle	2753
Last Poll Cycle	384
Station Delay	
Last Station Delay Time	22 bit times
Station Delay Time	22..22 bit times

Station Type
Master station or slave station

Figura 54 – Informações sobre o escravo.

É possível, ainda verificar todas as mensagens trocadas na rede e seu campo de dados para uma interpretação mais detalhada, conforme visto na Figura 55. Nesse caso, verifica-se o processo de inicialização de um escravo identificado como *AFFE* que aceita a configuração, a parametrização e entra em estado de troca de dados cíclica, sem a ocorrência de erros.

1_Address_Dados.rpb

Instant Recording

No.	Time Stamp	Address	Pro	Primitive	Service	Data
243440	20:15:16.395401	2.62 -> 1.60	DP	Request	DIAG...	
243441	20:15:16.395490	2.62 <- 1.60	DP	Response	DIAG...	02 05 00 FF AF FE
243443	20:15:16.395894	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
243450	20:15:16.396372	2.62 -> 1.61	DP	Request	SET ...	B8 05 07 0B AF...
243451	20:15:16.396600	2.62 <- 1.61	FDL	Response	SC	
243453	20:15:16.396885	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
243461	20:15:16.397434	2.62 -> 1.62	DP	Request	CHEC...	42 00 00 01 42...
243462	20:15:16.397699	2.62 <- 1.62	FDL	Response	SC	
243464	20:15:16.397983	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
243471	20:15:16.398642	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
243482	20:15:16.399405	2.62 -> 1.60	DP	Request	DIAG...	
243483	20:15:16.399495	2.62 <- 1.60	DP	Response	DIAG...	02 0C 00 02 AF FE
243485	20:15:16.399906	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
243492	20:15:16.400384	2.62 -> 1.60	DP	Request	DIAG...	
243493	20:15:16.400473	2.62 <- 1.60	DP	Response	DIAG...	02 0E 00 02 AF FE
243495	20:15:16.400877	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
243503	20:15:16.401427	2.62 -> 1.60	DP	Request	DIAG...	
243628	20:15:16.413917	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
243635	20:15:16.414396	2 -> 1	DP	Request	DATA...	00 00 00 00 00...
243636	20:15:16.414528	2 <- 1	DP	Response	DATA...	01 01 00 00 00...
243638	20:15:16.414932	2 -> 2	FDL	Request	TOKEN	
243645	20:15:16.415411	2 -> 1	DP	Request	DATA...	00 00 00 00 00...
243646	20:15:16.415544	2 <- 1	DP	Response	DATA...	01 01 00 00 00...

Figura 55 – Telegramas de comunicação.

3.3) Análise de Sinal

Essa análise está relacionada principalmente com a qualidade do sinal que chega até as estações, ou seja, qual o nível de tensão, duração de bordas de subida e descida dos bits, formas de onda, tensões diferenciais entre as linhas de dados e possíveis efeitos reflexivos. Esse tipo de observação, por sua vez, auxilia na determinação de ocorrência de erros e garante confiabilidade a rede podendo ser feita a partir de equipamentos dedicados ou, para algumas observações, com um osciloscópio.

Para o uso de osciloscópios, no entanto, recomenda-se os modelos digitais e, uma prática importante de ser realizada é a não utilização do pino terra da tomada de alimentação do equipamento no terra da rede elétrica pois pode causar queda na rede [3].

3.3.1) Medições para PROFIBUS RS-485

As medições efetuadas com osciloscópios geralmente são fundamentadas em processos de *Troubleshooting*, ou seja, praticamente resolução de eventuais problemas ocorridos [10].

Vale, no entanto, demonstrar aqui as técnicas utilizadas para se ter idéia do como avaliar a qualidade de um sinal PROFIBUS.

Dessa forma, algumas medidas se fazem mais importantes. Dentre elas, a avaliação da tensão diferencial entre as linhas de dados *A* e *B*, que mostra o formato de onda da rede pois os sinais de comunicação são transferidos com base em tensão diferencial o que garante alta imunidade a ruídos. A partir disso, quando mensurada essa tensão o valor deve estar dentro da faixa de 4V a 7V. Se detectados erros nesses valores, pode-se fazer a medição individual de cada linha em relação ao terra de dados sendo que os valores a serem encontrados, conforme [10], devem ser os seguintes:

- Tensão esperada de A em relação ao terra: +2V;
- Tensão esperada de B em relação ao terra: +3V;
- Tensão mínima de transmissão para a linha de dados A: +1V;
- Tensão mínima de transmissão para a linha de dados B: +1V;
- Tensão máxima de transmissão para a linha de dados A: +4V;
- Tensão máxima de transmissão para a linha de dados B: +4V;

Para alguns dispositivos mais atuais, no entanto, a tensão máxima nas linhas pode ser um pouco maior devido ao uso de *drivers* mais potentes, porém os valores máximos e mínimos para cada linha de dados, nesse caso, também devem ser próximos [10]. A Figura 56 (Fonte: [10]) a seguir ilustra os formatos de onda típicos para os sinais.

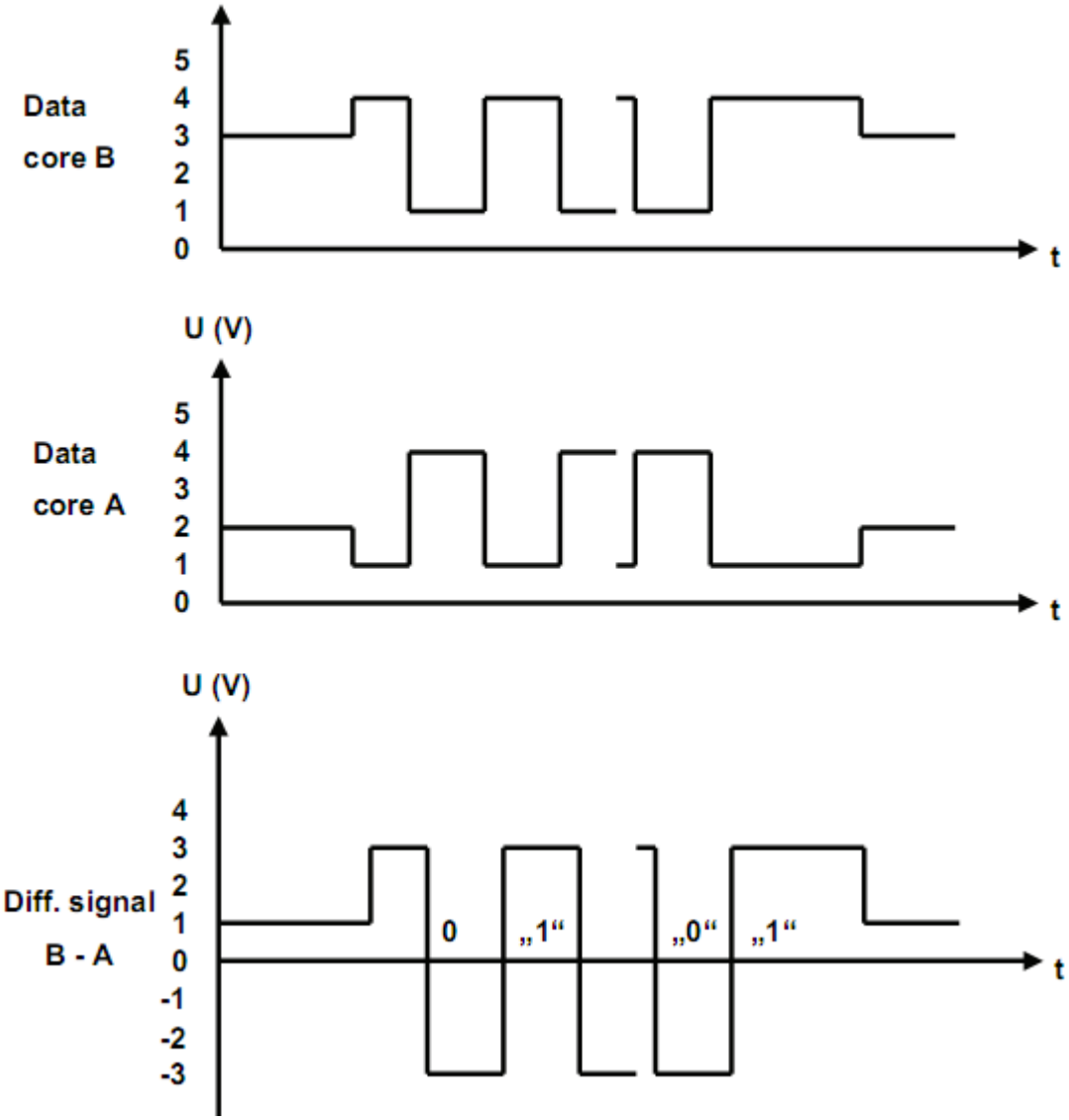


Figura 56 – Sinais Ideais para PROFIBUS RS-485.

A observação das ondas de sinais da rede, por sua vez, pode revelar algumas características de falhas presentes no sistema. A partir disso, quando se tem segmentos com cabos muito longos, geralmente verifica-se uma distorção no formato dos bits sendo que se pode observar na borda de subida um arredondamento e, na borda de descida, um prolongamento, conforme a Figura 57 (Fonte: [10]), prejudicando a comunicação [10].

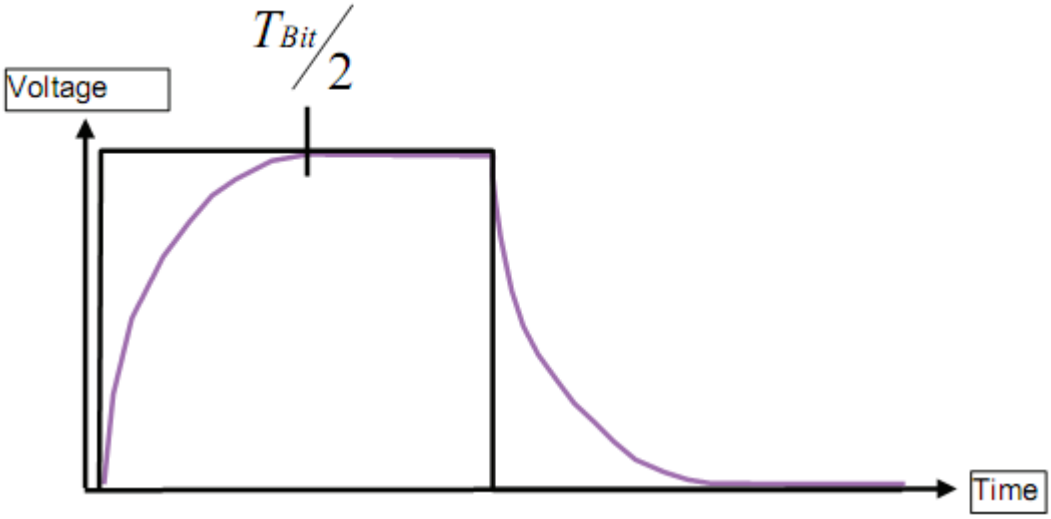


Figura 57 – Formato de onda para cabo muito longo.

Outra fonte de erros de comunicação são os conectores que são inseridos nos cabos mas não estão conectados a nenhuma estação. Isso pode causar efeitos de reflexão de onda por parte dos indutores presentes nesses dispositivos [10]. A Figura 58 (Fonte: [10]) mostra um tipo de sinal gerado pelo problema relatado.

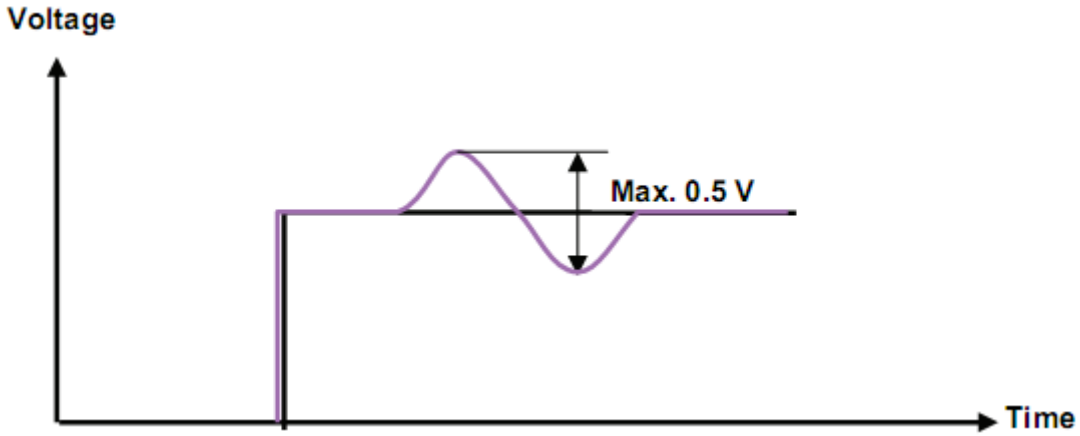


Figura 58 – Conectores não ligados a estações na rede (sinal).

Como mais uma opção de fonte de erros, pode-se ter o mau funcionamento da terminação de linha o que também causa reflexões de onda a qual depende do tipo de erro. Em primeira análise, pode-se ter muitos terminadores ligados o que causa a reflexão de um terço do sinal 180° invertido em relação ao sinal o riginal. Esse sinal, por sua vez, retorna ao cabo e encontra um próximo frame causando adição ou redução de nível no sinal final [10].

Outro tipo de erro que pode ocorrer nesta mesma linha de análise é o esquecimento de algum terminador, o que também causa reflexão de onda, porém não invertida em relação à original. Na verdade, o sinal retorna em sua amplitude total sendo que o encontro com o próximo sinal causa ou o cancelamento de ambos ou a duplicação da tensão total [10].

3.3.2) Lista de Verificação para PROFIBUS RS-485

Para esse tipo de verificação aconselha-se utilizar um dispositivo específico de análise e todos os resultados devem ser documentados. De acordo com [10] esse tipo de validação pode ser dividido, basicamente, em cinco passos que consistem em teste de fiação, interface, *live list*, medida de comprimento de segmentos e reflexões. Para um melhor detalhamento, pode-se observar a Tabela 25 a seguir.

Tabela 25 – Lista de procedimentos para verificação física de rede RS-485.

N°	Descrição
1	Teste de Fiação ▪ Existe curto-circuito entre as linhas de dados “A” e “B”? ▪ Existe curto-circuito entre a linha de dados “A” e a blindagem? ▪ Existe curto-circuito entre a linha de dados “B” e a blindagem? ▪ A linha de dados “A” está intacta? ▪ A linha de dados “B” está intacta? ▪ A blindagem está intacta? ▪ As linhas de dados estão invertidas? ▪ Os terminadores estão ligados apenas no fim dos segmentos?
2	Teste de Interface ▪ Tensão presente para todos os terminadores em todas as interfaces? ▪ A intensidade de sinal da linha RS-485 é suficiente para todas as estações? ▪ O sinal CNTR está presente no mestre?
3	*Live list* ▪ Todas as estações PROFIBUS estão acessíveis em seus endereços?
4	Medida do comprimento de segmentos ▪ Comprimento máximo de segmento está de acordo com as normas Profibus?
5	Teste de reflexão ▪ Nenhuma reflexão considerável está presente?

Fonte: [10]

3.3.3) Medições para PROFIBUS PA

As medidas, nesse caso, são executadas em função da modulação de corrente pois a alimentação dos dispositivos *PA* é feita a partir dos mesmos fios das linhas de dados. Essas medições, contudo, não são fáceis de serem realizadas pois algumas estações são encapsuladas por motivos de segurança e, além disso, são conectadas via conector tipo *M-12,* sendo que a tomada de sinal só pode ser feita nos terminais do *coupler* ou na saída dos dispositivos. De qualquer forma, é possível fazer dois tipos de medição para verificação de sinal com osciloscópio, por exemplo. A primeira, por sua vez, diz respeito à parcela de tensão em corrente contínua do sinal. Para isso, deve-se colocar o osciloscópio em modo de corrente contínua e ajustar corretamente a escala de tempo. Com isso, deve ser encontrados valores de 32 VDC máximo para plantas com segurança intrínseca, sendo 19 VDC um valor típico. O nível máximo de sinal para plantas sem segurança intrínseca, no entanto é de 13,5 VDC porém a tensão fornecida pelo dispositivo de alimentação deve estar de acordo com sua descrição técnica e se caso a tensão encontrada nos dispositivos seja menor que 9 VDC, provavelmente um número maior de equipamentos está conectado no segmento em questão do que o recomendado. Caso, ainda, o nível corrente contínua no dispositivo seja muito baixa, o cabo pode estar muito longo [10].

Outro teste que pode ser feito para redes PROFIBUS PA é a verificação da tensão alternada, ou seja, o sinal de dados. Dessa forma, teoricamente, a diferença de amplitude de sinal entre o pico de sinal positivo e o negativo deve ser de 900 mV, porém na prática isso fica entre 800 mV e 1000 mV sendo que um valor maior indica a falta de um terminador de linha no segmento e valores menores indicam a presença de muitos terminadores. A Figura 59 (Fonte: [10]) a seguir ilustra o tipo de sinal ideal.

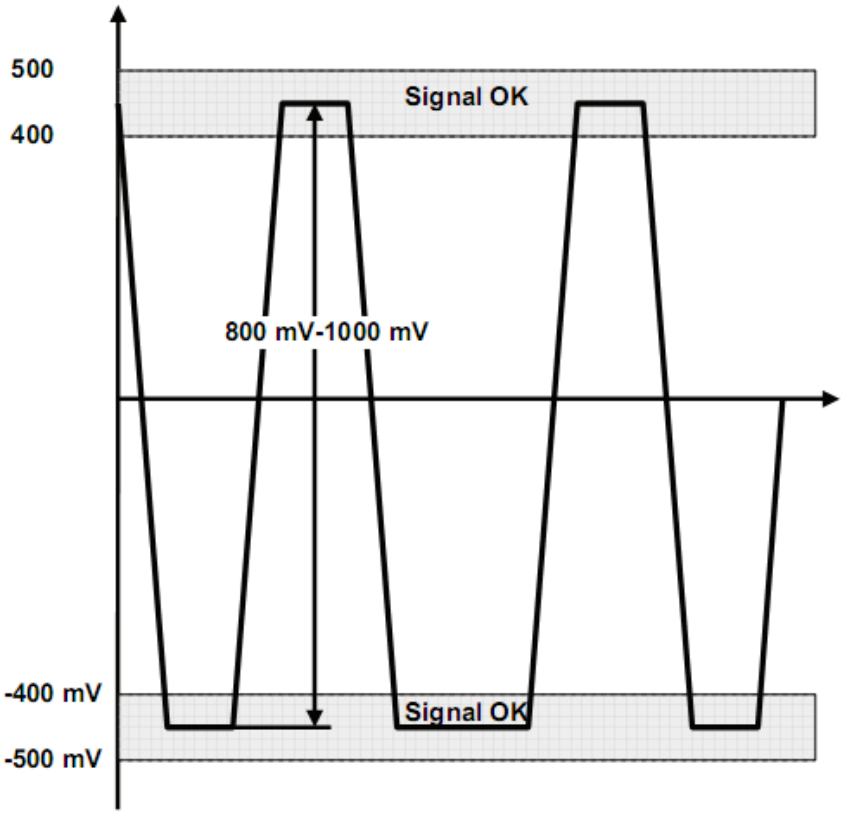


Figura 59 – Sinal de dados ideal para rede *PA*.

3.3.4) Lista de Verificação para PROFIBUS PA

Na Tabela 26, está representada uma lista de procedimentos para verificação de redes PROFIBUS PA.

Tabela 26 – Lista de procedimentos para verificação de rede PROFIBUS PA.

N°	Descrição
1	Teste de Fiação ▪ Existe curto-circuito entre as linhas PA+ e PA-? ▪ Existe curto-circuito entre a linhas PA+ e a blindagem? ▪ Existe curto-circuito entre a linhas PA- e a blindagem? ▪ A linha PA+ está intacta? ▪ A linha PA- está intacta? ▪ A blindagem está intacta? ▪ As linha não estão invertidas ▪ Existem terminadores apenas no fim dos ramos?
2	Tensão de alimentação ▪ Existe tensão de alimentação suficiente em todas as estações (no mínimo 9 V)? ▪ Tensão máxima permitida não está sendo excedida?

Fonte:[10]

3.3.5) Medições para Instalações com Fibra Óptica

A verificação de sinal para esse tipo de rede esta diretamente relacionada com o processo de medição por *Optical Time Domain Reflectometer* (OTDR), ou seja, é um tipo de análise baseada na reflexão de onda sendo que não são detectados apenas erros, mas também sua localização. Para fazer isso, conforme ilustrado na Figura 60 (Fonte: [10]), esse equipamento envia um sinal na fibra óptica e analisa as reflexões recebidas, as quais podem ser provenientes de conectores ou de partes defeituosas e a partir da diferença de tempo entre envio e recepção de sinal, sabida a velocidade do sinal, calcula a distância do ponto da reflexão e atenuações [10].

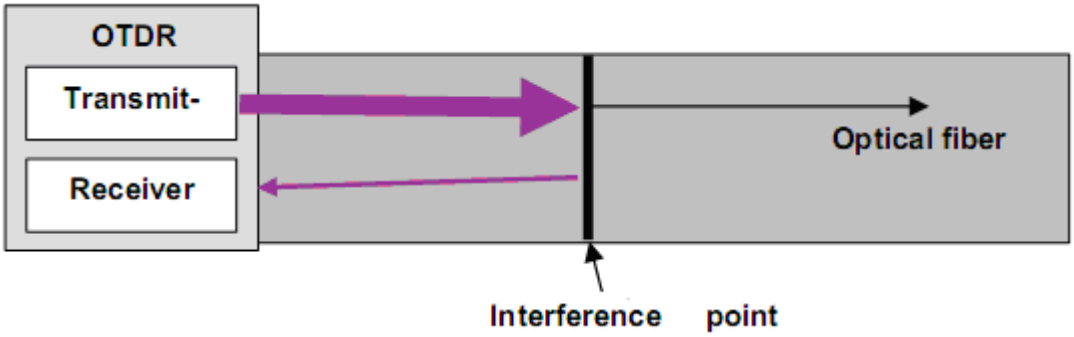


Figura 60 – Reflexão de onda em instalação com fibra óptica.

De acordo com [10], a medição das atenuações de sinais para redes com fibras ópticas se faz de maior importância pois é uma das únicas maneiras de se determinar a extensão das perdas e danos na linha. Essa atenuação, contudo, deve ser menor que o valor máximo de atenuação permitido por tipo de fibra usado, conforme pode ser observado na Tabela 27.

Tabela 27 – Atenuações típicas para fibras ópticas.

Medições	Fibra *Single Mode*	Fibra *Multimode*	Fibras PCF®/HCS®	Fibra Sintética Padrão	Fibra Sintética Reforçada
Tamanho de onda típico	1320nm	850nm	660nm	660nm	660nm
Atenuação máxima	5dB	6dB	3dB	6dB	11dB

Fonte:[10]

3.3.6) Análise de Sinal Através de Equipamento Dedicado

Uma maneira rápida e bastante eficiente de se testar o sinal em uma rede PROFIBUS é a partir de um dispositivo analisador. Existem algumas opções de mercado, porém, para esse trabalho será exemplificado, de maneira sucinta, o uso do *PROFIBUS-Tester 3* do fabricante Softing®. De acordo com o PROFIBUS-Tester 3 User Manual (2005) esse dispositivo pode ser utilizado para as seguintes aplicações:

- Detecção automática da taxa de transmissão da rede.
- Determinação automática de todas as estações conectadas no barramento.
- Verificação do nível de qualidade do sinal em cada estação.
- Análise do tempo de ciclo do barramento.
- Análise do nível de sinal livre de distúrbio.
- Análise de duração de bordas de subida e descida.
- Verificação da ocorrência de *frames* ilegais.

Em nível de exemplificação, a Figura 61 (Fonte: [9]) mostra a análise de sinal em uma rede formada por 34 estações. Nessa verificação, feita a partir do escravo 13, leva-se em conta fatores como nível de ruído, atenuações, borda de subida, borda de descida e bit time, por exemplo, apresentando uma escala em unidade de qualidade que varia de 0 a 5000 com média em 2500. Nesse caso, o nível de sinal apresenta-se pouco satisfatório, conforme pode ser visto pela grande quantidade de estações abaixo da média [10].

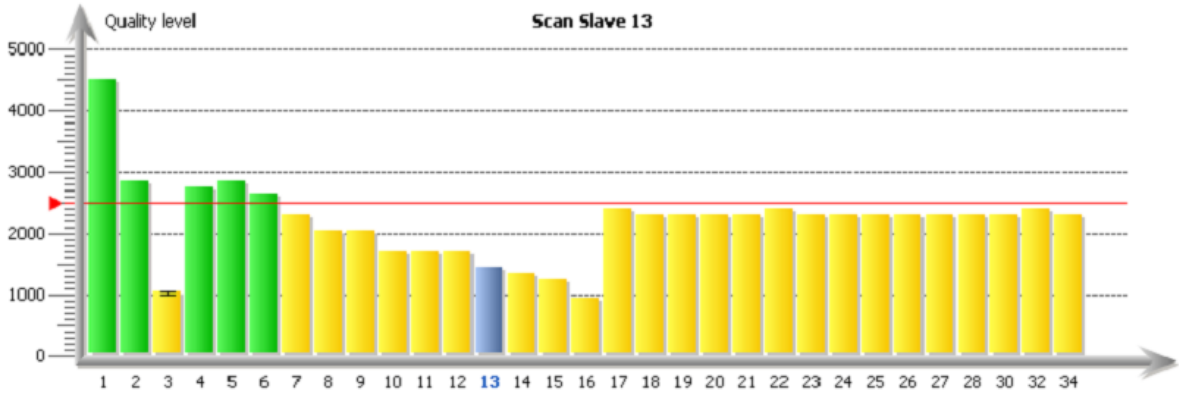


Figura 61 – Análise de sinal a partir do *PB-t3.*

Outro tipo de medida possível com esse analisador com relação a análise de sinal é a amplitude média do sinal livre de distúrbios, de cada escravo individual, junto de sua forma de onda e da duração das bordas de subida e descida, conforme a Figura 62 (Fonte: [9]). Nesse caso o valor da tensão média está em 4,6 V, o qual se encontra num valor acima de 90% do valor total e a duração das bordas estão num valor quase instantâneo [10].

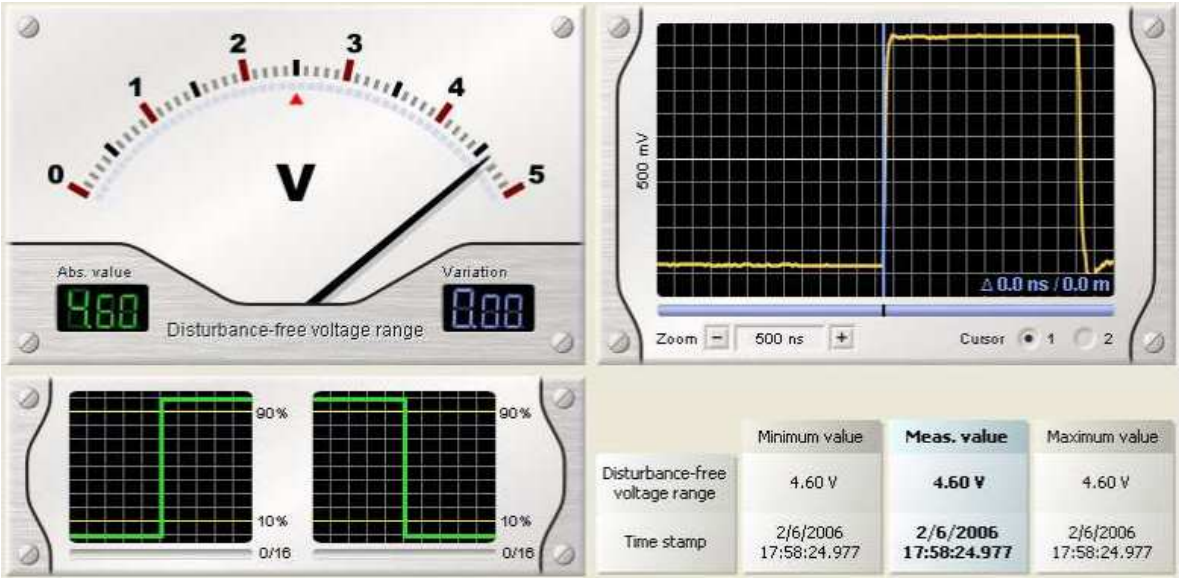


Figura 62 – Análise de amplitude e forma de onda de sinal a partir do *PB-t3*.

Capítulo 4

Conclusões

Os procedimentos para testes de dispositivos escravos PROFIBUS DP aqui demonstrados, de acordo com [2], não são suficientes a certificação completa de um dispositivo desse padrão, sendo que alguns testes não foram realizados por falta de equipamentos, porém apresentam-se como primeiro passo e incentivo ao Laboratório de Automação Industrial (LAI) e também Centro de Competência PROFIBUS, a desenvolver esses testes profissionalmente no futuro se tornando um laboratório de certificação oficial da associação Profibus Internacional. Atualmente, segundo [11], são 10 laboratórios autorizados a realizar a certificação, localizados em 6 nações fora da América do Sul sendo estas Alemanha, China, Estados Unidos, Holanda, Japão e República Checa. Dessa forma, fica a opção de investimentos em maiores conhecimentos e tecnologias para melhoria.

Com relação a inspeção de redes, os métodos apresentados podem auxiliar tanto projetistas quanto integradores a fazer uma verificação prévia das instalações e sinais da rede com o intuito de garantir a integridade da planta a ser iniciada. Com isso, tem-se um guia para evitar falhas, que podem ser antecipadas e previnidas. Além disso, as técnicas apresentadas podem servir como orientação a resolução de supostos problemas que surjam na rede buscando garantir o bom funcionamento de um sistema já em operação. Quanto a certificação desses sistemas, no entanto, deve ser feita a partir de corpo técnico autorizado e certificado pela associação internacional, porém os procedimentos de análises são semelhantes aos apresentados neste trabalho.

Referências Bibliográficas

[1] SMAR EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS. *O que é PROFIBUS*. Disponível em: <http://www.smar.com/brasil2/profibus.asp>. Acesso em: Setembro de 2010.

[2] PROFIBUS INTERNATIONAL. *Test Specifications for PROFIBUS DP Slaves*, Version 2.3, Germany, PROFIBUS Nutzerorganisation e.V., March 2004.

[3] PROFIBUS INTERNATIONAL. *Recommendation for Cabling and Assembly*, Version 1.0.2, Germany, PROFIBUS Nutzerorganisation e.V, June 2005.

[4] PROFIBUS INTERNATIONAL. *Normative Parts of PROFIBUS –FMS, -DP, -PA according to European Standard EN 50 170 Volume 2*, Edition 1.0, Germany, PROFIBUS Nutzerorganisation e.V, March 1998.

[5] PROFIBUS INTERNATIONAL. *Getting an ID Number for PROFIBUS*. Disponível em: <http:// http://www.profibus.com/products/ident-numbers>. Acesso em Setembro de 2010.

[6] PROFIBUS INTERNATIONAL. Spec*ifications for PROFIBUS Device Description and Device Integration*. Volume 1, Version 5.0, Germany, PROFIBUS Nutzerorganisation e.V, August 2003.

[7] ACROMAG INC. *BusWorks™ 900PB Series, PofiBus/RS485 Network I/O Modules: Introduction to PROFIBUS DP*. 2002. Disponível em < http://www.acromag.com>.

[8] Verwer A. *PROFIBUS Certified Engineer Course.* Version 7.0, December 2008.

[9] Mangeroti, C. E. S.; Eller W. A. G. *Metodologia Para Análise e Certificação de Rede PROFIBUS.* In: CONGRESSO RIO AUTOMAÇÃO, 5., 2009, Rio de Janeiro. *Anais…*Rio de Janeiro, 2009.

[10] PROFIBUS INTERNATIONAL. *Installation Guideline for Comissioning.* Version 1.0.2, Germany, PROFIBUS Nutzerorganisation e. V., November 2006.

[11] PROFIBUS INTERNATIONAL. *Test Labs.* Disponível em: < http://www.profibus.com/community/test-labs/>. Acesso em Outubro de 2010.