



Análise de comunicação Profibus DP utilizando software de diagnóstico

Davi da Silva Barbosa
IFSP, Cubatão, SP, Brasil

Henrique Bach Menegatto
IFSP, Cubatão, SP, Brasil

Sarah Soares Baeta Neves
IFSP, Cubatão, SP, Brasil

Augusto Pereira
APP Consultoria e Treinamento, SP, Brasil

Marcelo Coelho
IFSP, Cubatão, SP, Brasil

Resumo: Um dos grandes recursos utilizados na automação são as redes industriais, onde um dos protocolos amplamente utilizado é o *Profibus DP*, que pode apresentar falhas na montagem e interferências externas. Dessa forma, a análise da qualidade de comunicação da rede tem grande importância na identificação de erros e falhas que impactam no funcionamento correto do sistema. Esse estudo aborda uma configuração composta por um dispositivo mestre e quatro escravos, em que serão analisados diferentes parâmetros da rede em uma situação normal de comunicação (não apresentando cabos quebrados, curto-circuito entre os fios, excesso ou falta de terminação na rede, dentre outros), utilizando cabos de diferentes comprimentos, além de analisar situações adversas na rede, cabo úmido e com corrosão. A partir dos resultados da análise, pode-se obter um comparativo entre os parâmetros de uma comunicação normal e com situações adversas na rede, apresentando diferenças no nível de ruído da comunicação, variação na queda de tensão nos cabos, aumento das capacitâncias parasitas do cabo, alteração na amplitude do sinal, dentre outros.

Palavras-chave: Diagnósticos, *Profibus DP*, Redes industriais.

Abstract: One of the great resources used in automation are the industrial networks, where one of the widely used protocols is Profibus DP, which could present sensitivity and fails due to the assembling and external interferences, this way, the analysis of the quality of communication of the network is very important in the identification of mistakes and fails that disturb the correct functioning of the system. Knowing this, this study addresses a configuration composed of a master device and four slaves, in which different network parameters will be analyzed in a normal communication situation (no broken cables, short circuit between wires, excess or lack of termination in the network, among others), using cables of different lengths, in addition to analyzing adverse situations in the network, damp cable and in corrosion. From the results of the analysis, it's possible to obtain a comparison between the parameters of a normal communication and with adverse situations in the network, showing differences in the noise level of the communication, variation in the voltage drop in the cables, increase of the parasitic capacitances of the cable, change in signal amplitude, among others.

Keywords: Diagnostics, Profibus DP, Industrial networks.

INTRODUÇÃO

As redes digitais de comunicação industrial (*Fieldbus*) apresentam grande importância no aumento da eficiência do setor industrial, sendo aplicadas em diversos processos de automação. Um dos protocolos *Fieldbus* muito utilizado é a família Profibus, compostas pelo Profinet, Profibus PA (Process Automation) e o Profibus DP (*Decentralized Peripherals*), que será abordado neste trabalho (MOSSIN, 2016).

O Profibus (acrônimo de *Process Field Bus*) é um protocolo internacional de comunicação, de código aberto e independente do fornecedor, amplamente utilizado nas indústrias de controle e automação e similares (SOUZA, 2012). O Profibus foi introduzido pelo BMBF (Departamento Alemão de Educação e Pesquisa) em 1989 em colaboração com vários fabricantes de automação, cuja principal tarefa é trocar informações de dados: de forma digital, com menos cabos entre um grupo de dispositivos, de forma confiável e em tempo real (GABOR, 2018).

O processo de padronização do Profibus DP iniciou-se com o padrão alemão DIN 19245 em 1991/1993 (LIU, 2007). Em seguida, ele foi incluído, junto com outros protocolos de comunicação, no padrão europeu EN50170 e atualizado em 1997 com uma extensão, cuja principal característica foi a introdução de serviços de comunicação acíclicos (VITTURI, 2003). Por fim, no início de 2000, uma versão completa do Profibus DP tornou-se parte do padrão internacional de *Fieldbus* IEC 61158 (VITTURI, 2004).

O Protocolo Profibus DP trabalha com 3 tipos de dispositivos, o mestre Classe 1, mestre Classe 2 e escravos. O método de comunicação apresenta troca de dados entre o mestre e os escravos, onde o mestre Classe 1, geralmente Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), solicita os dados dos escravos (*Inputs/Outputs* remotas, instrumentação) os quais respondem quando solicitados. Esse processo de comunicação ocorre de forma cíclica entre os dispositivos. (DIAS, 2017)

O Profibus DP pode substituir a transmissão de sinal em 24V, assim como sinais 4 a 20mA ou HART (*Highway Addressable Remote Transducer*) (SOUZA, 2012). Na sua camada física utiliza o meio RS-485 sendo este o mais utilizado, porém é possível utilizar fibra ótica. No RS-485 a transmissão é realizada por um cabo de par trançado e blindado, permitindo até 32 estações no barramento, mas

com a utilização de repetidores que se estende para 126. A sua velocidade de transmissão dos dados é diretamente relacionada com o comprimento do cabo, como mostra a Tabela 1. (MOSSIN, 2012)

Tabela 1 – Velocidade de transmissão de dados

Taxa (Kbps)	9,6	19,2	45,45	93,7	187,5	500	1500	3000	6000	12000
Comprimento Máx. (m)	1200	1200	1200	1200	1000	400	200	100	100	100

Fonte: Adaptado de MOSSIN (2012)

Assim como outras redes industriais, o Profibus DP apresenta alto desempenho, no entanto é suscetível a falhas, principalmente as que ocorrem na instalação física (SESTITO, 2014), por exemplo: aterramento não adequado, blindagem do cabo não padronizada, presença ou ausência de terminadores ativos, podendo alterar as características do sinal elétrico e conseqüentemente prejudicar a comunicação entre os dispositivos. Outro problema que pode ocorrer na rede Profibus DP é na configuração dos dispositivos que compõem a rede, afetando a comunicação e dificultando a manutenção do sistema (FELSER, 2006).

Um sistema industrial somente pode trabalhar adequadamente se as redes de comunicação são confiáveis, pois sem as informações corretas do processo não ocorre o controle ideal. Dessa forma é de extrema importância que as redes estejam em boas condições, o que pode ser analisado a partir dos diagnósticos das redes (VERHAPPEN, 2013).

De acordo com SILVA (2008), os principais métodos de diagnósticos de redes industriais são: inspeção visual da instalação, testes com multímetro, testes com testadores de barramento, testes com osciloscópio, testes utilizando repetidores com diagnóstico e ferramentas de monitoração da rede (*softwares*). Neste trabalho foi utilizado o método do diagnóstico com ferramentas de monitoração.

Os *softwares* para diagnósticos de redes Profibus DP apresentam o monitoramento de todos os parâmetros da rede, extraindo informações não só sobre a camada física, mas também sobre o tráfego de dados da comunicação entre as estações Profibus mestre e escravo. Essa ferramenta é conectada à rede de forma passiva, por meio de um *hardware* que extrai informações, as quais serão

analisadas pelo profissional técnico qualificado, que tenha conhecimento e experiência sobre a rede Profibus DP (MOSSIN, 2012).

Neste artigo foi abordada uma configuração composta por um dispositivo mestre e quatro escravos, com comunicação Profibus DP, que será analisada a partir do *software* de monitoramento Profitrace do fabricante *Westcon* e sua interface Proficore Ultra, demonstrando os resultados obtidos de uma plataforma de ensaio do protocolo Profibus DP, verificando o estado da comunicação através da forma de onda, em quatro situações diferentes, sendo elas: cabo com 1 metro de comprimento em condições ideais, cabo de 70 metros de comprimento em forma de bobina, cabo em umidade e cabo com corrosão simulada. Isso permitirá uma análise detalhada dos efeitos dessas condições na qualidade, estabilidade, confiabilidade e robustez da rede Profibus DP.

DESENVOLVIMENTO

A plataforma de ensaios apresentada na Figura 1 é composta por 4 conjuntos separados de equipamentos que se comunicam a partir da rede Profibus DP. O primeiro conjunto, que atuará como mestre PROFIBUS, contém dispositivos da linha Nexto (NX) da fabricante Altus, sendo eles um barramento NX9002 que contém 16 *slots* para adicionar dispositivos da mesma linha, uma CPU (*Central Processing Unit* – Unidade de processamento central) NX3004 que tem fonte interna e um módulo mestre de comunicação Profibus DP NX5001. O segundo conjunto, também constituído por equipamentos Altus, é composto por outro barramento NX9002, um módulo escravo Profibus DP NX5110 e um módulo com 8 entradas e 8 saídas digitais NX1005. O terceiro conjunto é composto apenas pelo escravo da fabricante MURR Elektronik, MBK-P modelo 55405, com 16 entradas e 16 saídas digitais. No último conjunto temos 2 escravos Profibus DP da fabricante Sense, sendo o KD-2EA-P um módulo com 2 entradas analógicas, e o KD-2SA-P, que contém 2 saídas analógicas.

Figura 1 – plataforma de ensaios

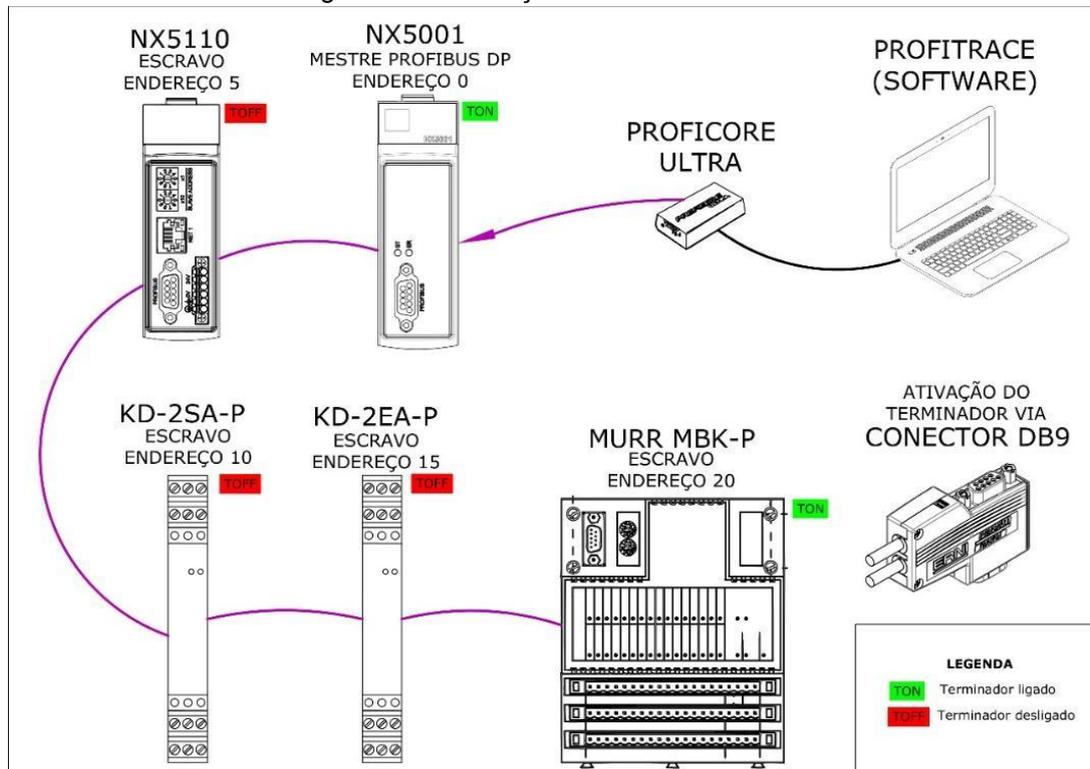


Fonte: Autoria própria

A configuração de todos os dispositivos é feita a partir da ferramenta de programação da série Nexto, o *software* MasterTool IEC, que realiza a programação do CLP NX3004 e acrescenta os outros dispositivos citados acima, seja por meio da biblioteca do *software* ou a partir da utilização de arquivos tipo GSD (*General Station Description*) os quais possibilitam a comunicação entre os dispositivos. Nesse processo foi definido que a velocidade da rede Profibus DP é de 500kbps, visto que os dispositivos KD-2EA-P e KD-2EA-P da Sense não suportam velocidades maiores que 6Mbps e o sistema montado não necessita de grande taxa de atualização na comunicação.

Na rede Profibus DP temos o NX5001 como mestre no endereço 00 padrão, o escravo NX5110 no endereço 05, o escravo KD-2SA-P no endereço 10, o escravo KD-2EA-P no endereço 15 e o escravo MBK-P com endereço 20 cuja construção e conexões para análise da rede pode ser observada na Figura 2.

Figura 2 – Construção da rede Profibus DP



Fonte: Autoria própria

A partir dessa montagem, foi iniciado o processo de análise da rede Profibus DP. Foram definidos 4 cenários de ensaios, dois deles em condições normais de funcionamento. Nesses dois cenários considerou-se a instalação dentro dos requisitos padronizados, sendo uma utilizando cabos entre os dispositivos com menos de 1 metro de comprimento (Experimento A) e outra utilizando um cabo de 70 metros de comprimento condicionados em forma de bobina para interligar o mestre com o escravo do endereço 5 (Experimento B).

Outros dois cenários permitem simular situações adversas do ponto de vista da instalação. Um deles com cabo em umidade (Experimento C) e cabo em situação similar a com corrosão (Experimento D). Para a simulação do Experimento C, mergulhou-se inicialmente um pedaço de cabo em 250 ml de água (simulando assim um cabo em umidade). Para a simulação do Experimento D, adicionou-se 20 g de sal em 250 ml de água e mergulhou-se novamente o cabo, simulando assim o efeito de corrosão no cabo.

Uma primeira análise foi realizada de forma visual com o objetivo de observar os terminadores e a qualidade de conexão dos cabos nos conectores. Na sequência, iniciou-se o diagnóstico da rede com a utilização do *software* Profitrace em conjunto do Proficore Ultra. Em seguida, o sistema de diagnóstico foi conectado à rede Profibus através do conector DB9 do mestre da rede, conforme mostrado na Figura 3, de modo a iniciar a varredura da rede no *software*, conforme Figura 2.

Figura 3 - Conexão da interface Proficore Ultra no mestre da rede PROFIBUS



Fonte: Autoria Própria

A primeira etapa do diagnóstico foi a verificação dos dispositivos presentes na rede (*Live list*), conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Endereços da rede

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
20	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
30	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39

Fonte: Autoria própria

Observa-se que o mestre DP (indicado em vermelho) está localizado no endereço 0, enquanto os escravos (indicados na cor azul) estão localizados nos endereços 5, 10, 15 e 20. Os endereços dos escravos destacados na cor verde indicam que os dispositivos estão efetuando a troca de dados com o mestre Profibus DP (em todas as situações analisadas obteve-se sucesso na troca de dados entre o mestre e os escravos).

Uma segunda análise foi feita para verificar se todos os escravos estavam se comunicando sem erros com o mestre. Nessa etapa de diagnóstico inicial de comunicação, é possível observar se não estão ocorrendo perdas de comunicação, retentativas no estabelecimento da comunicação, problemas nos *drivers* ou diagnósticos dos dispositivos, dentre outras análises. A Figura 5 apresenta os resultados obtidos por esses diagnósticos iniciais de comunicação nos Experimentos A, B e C

Figura 5 – Diagnóstico inicial de comunicação dos Experimentos A, B e C

6.1 Slaves that have been lost at least one time:	None	<input checked="" type="checkbox"/>
6.2 Slaves that generated diagnostics while in data exchange:	None	<input checked="" type="checkbox"/>
6.3 Devices that have caused illegal responses:	None	<input checked="" type="checkbox"/>
6.4 Device found on reserved address 126:	None	<input checked="" type="checkbox"/>
6.5 Slaves that caused retries:	None	<input checked="" type="checkbox"/>
6.6 Slaves that caused syncs: <i>Some types of ABB DCS systems continuously send Sync messages. This does not influence the bus communication. These Syncs can be ignored.</i>	None	<input checked="" type="checkbox"/>
6.7 Parameters have been sent to the following slaves:	None	<input checked="" type="checkbox"/>

Fonte: Autoria própria

Como pode ser observado nos diagnósticos, para as situações normais de funcionamento nos experimentos A e B (tanto com cabo curto quanto para o cabo de 70 m) e para o experimento C (cabo úmido), não se obteve qualquer tipo de erro na comunicação. Porém, como destacado na Figura 6, no experimento D, cabo submetido a corrosão, observa-se que a rede começa a apresentar problemas, nesse caso perda de comunicação do escravo no endereço 10, retentativa de comunicação em todos os escravos e o escravo 10 causando sincronização na rede.

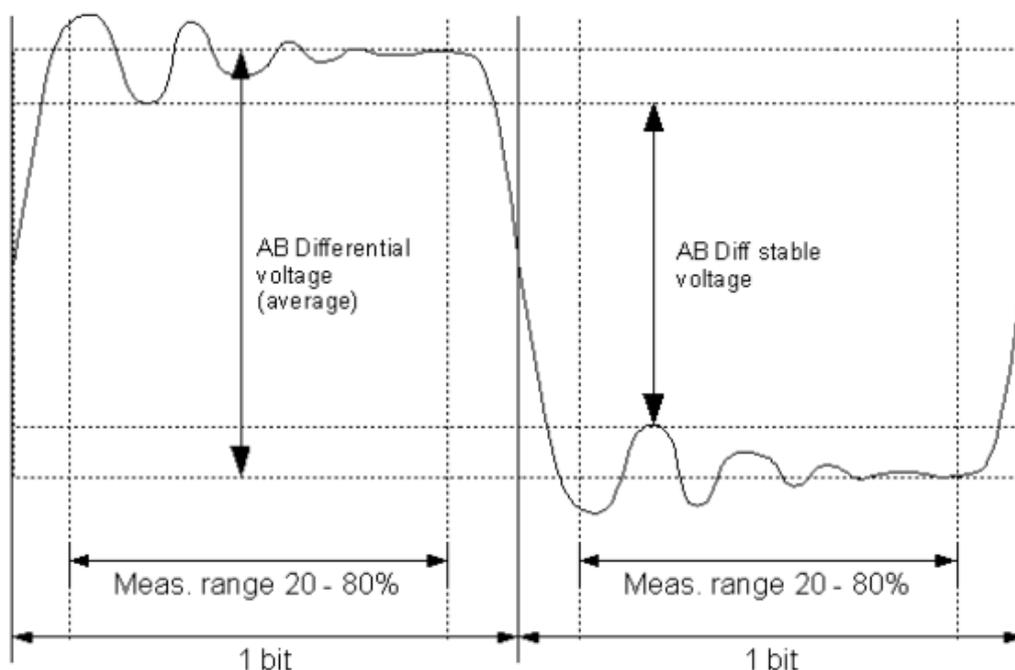
Figura 6 – Diagnóstico inicial de comunicação do Experimento D

6.1 Slaves that have been lost at least one time:	10	✗
6.2 Slaves that generated diagnostics while in data exchange:	None	✓
6.3 Devices that have caused illegal responses:	None	✓
6.4 Device found on reserved address 126:	None	✓
6.5 Slaves that caused retries:	5, 10, 15, 20	✗
6.6 Slaves that caused syncs: <i>Some types of ABB DCS systems continuously send Sync messages. This does not influence the bus communication. These Syncs can be ignored.</i>	10	✗
6.7 Parameters have been sent to the following slaves:	None	✓

Fonte: Autoria própria

A terceira etapa do diagnóstico consiste em verificar o valor da tensão em cada um dos dispositivos da rede. Para isso, são feitas duas análises: na primeira, é mostrada a diferença de tensão entre os níveis alto e baixo da comunicação considerando seus valores médios (*AB Diff voltage*), enquanto na segunda temos a diferença de tensão entre os níveis alto e baixo da comunicação considerando seus valores mínimos (*AB Diff stable voltage*). A Figura 7 apresenta um sinal com a diferença entre as duas análises.

Figura 7: Diagnóstico da diferença de tensão entre os níveis alto e baixo da comunicação: valores médios (*Diff voltage*) e valores mínimos (*Diff stable voltage*)



Fonte: Procentec (2015)

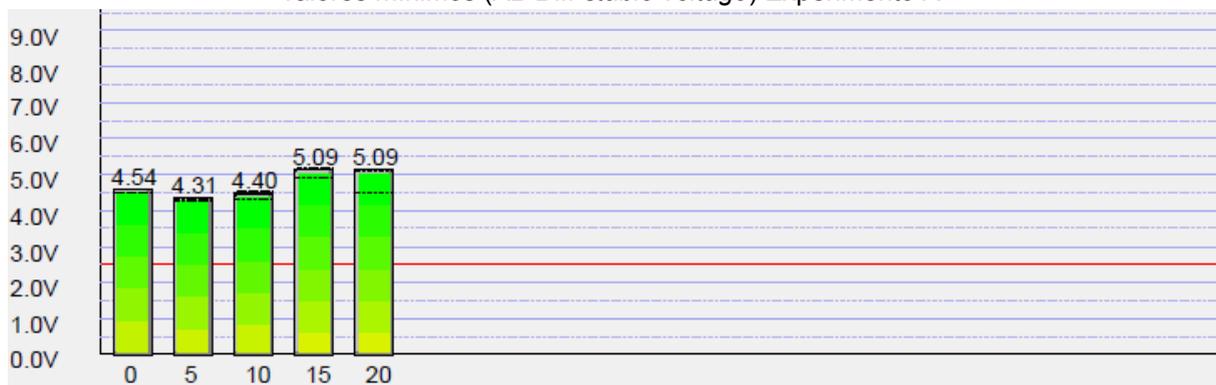
As Figuras 8 e 9 apresentam, respectivamente, o gráfico da diferença de tensão entre os níveis alto e baixo da comunicação com valores médios (*Diff voltage*) e mínimos (*Diff stable voltage*) medidos nos escravos para o Experimento A (situação mais próxima do ideal).

Figura 8 – Valores da diferença de tensão entre os níveis alto e baixo da comunicação considerando seus valores médios (*AB Diff voltage*) nos escravos do Experimento A



Fonte: Autoria própria

Figura 9 – Diferença de tensão entre os níveis alto e baixo da comunicação considerando seus valores mínimos (*AB Diff stable voltage*) Experimento A



Fonte: Autoria própria

A Tabela 2 apresenta os valores da diferença de tensão entre os níveis alto e baixo da comunicação considerando seus valores médios (*AB Diff voltage*) em todos os dispositivos, enquanto a Tabela 3 apresenta os valores da diferença de tensão entre os níveis alto e baixo da comunicação considerando seus valores mínimos (*AB Diff stable voltage*) nos dispositivos.

Tabela 2: diferença de tensão entre os níveis alto e baixo da comunicação considerando seus valores médios (*AB Diff voltage*) nos 4 experimentos

Escravos	Experimento A	Experimento B	Experimento C	Experimento D
0	4,62 V	4,60 V	4,63 V	3,20 V
5	4,38 V	4,24 V	4,39 V	2,77 V
10	4,53 V	4,32 V	4,52 V	2,33 V
15	5,17 V	4,96 V	5,25 V	2,46 V
20	5,14 V	4,95 V	5,11 V	2,18 V

Fonte: Autoria própria

Tabela 3: Diferença de tensão entre os níveis alto e baixo da comunicação considerando seus valores mínimos (*AB Diff stable voltage*) nos 4 experimentos

Escravos	Experimento A	Experimento B	Experimento C	Experimento D
0	4,54 V	4,40 V	4,54 V	2,98 V
5	4,31 V	4,04 V	4,31 V	2,61 V
10	4,40 V	4,17 V	4,45 V	2,20 V
15	5,09 V	4,82 V	5,05 V	2,25 V
20	5,09 V	4,77 V	5,05 V	1,93 V

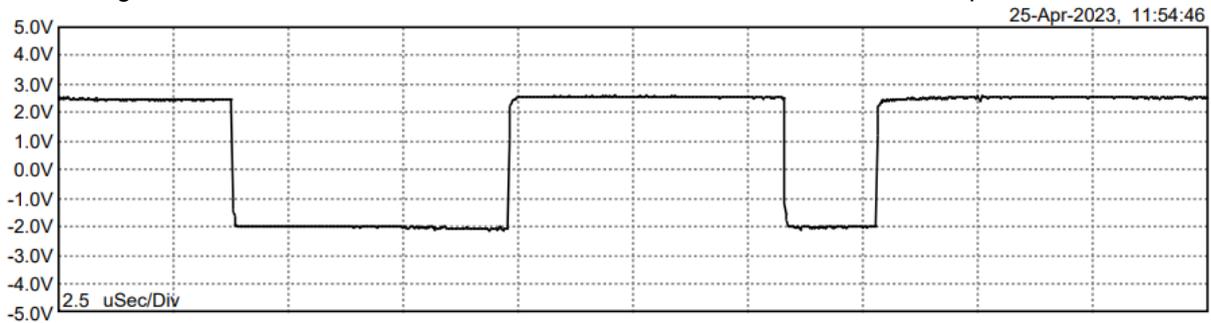
Fonte: Autoria própria

De acordo com Procentec (2015), a tensão mínima exigida em cada um dos escravos para que ocorra a comunicação é de aproximadamente 2,5V, porém o ideal é que haja uma tensão próxima de 5V em cada um dos equipamentos para que ocorra uma boa comunicação. Como pode-se observar nas Tabelas 2 e 3, nos Experimentos A, B e C os valores de tensão mínima são atingidos em todos os escravos, porém observa-se que no Experimento D existem escravos em que não são atingidos os níveis de tensão mínimos (neste caso, os escravos 10, 15 e 20), causando assim falhas na comunicação.

Para finalizar o diagnóstico, é feita uma análise da forma de onda do sinal de comunicação por meio de um osciloscópio disponível no *software* PROFITRACE para cada um dos dispositivos conectados à rede Profibus DP. É possível identificar, por meio da forma de onda dos gráficos gerados nessa etapa: ruídos, reflexões, problemas de terminação, quebras nos fios, interferência eletromagnética, problemas no aterramento, dentre outras situações que comprometem a comunicação da rede. As figuras 11a e 11b apresentam as formas de onda das

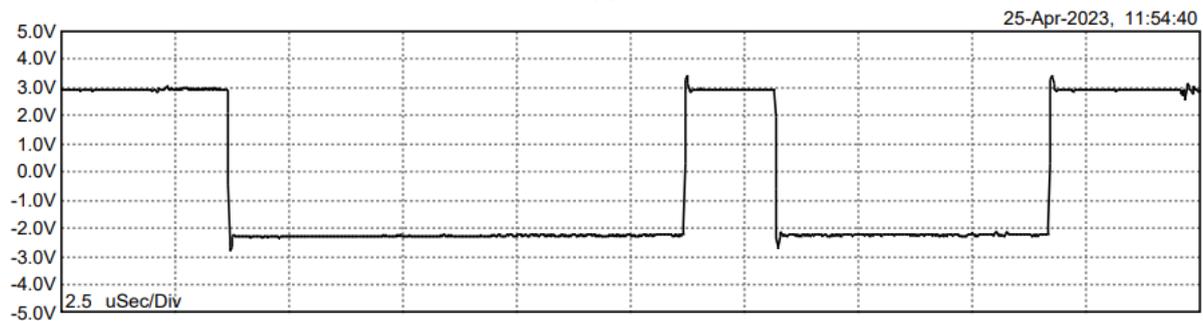
médias de tensão resultantes do experimento A, coletadas respectivamente no mestre Profibus NX5001 e do escravo KD-2EA-P da plataforma de ensaio.

Figura 11a – Forma de onda da média de tensão medida no mestre no experimento A



Fonte: Autoria própria

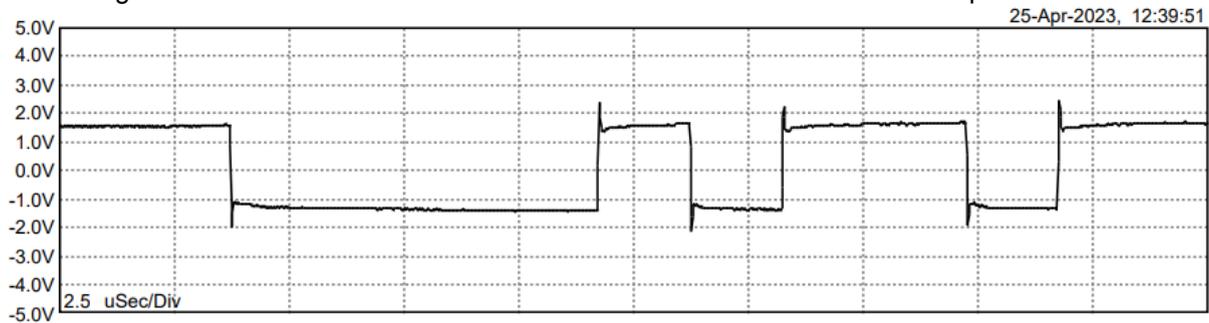
Figura 11b – Forma de onda da média de tensão medida no escravo de endereço 15 no experimento A



Fonte: Autoria própria

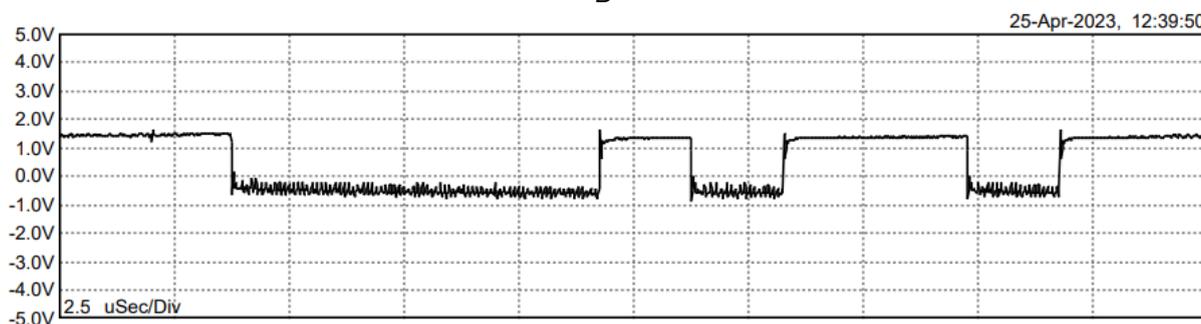
Nas figuras 12a e 12b temos as formas de onda das médias de tensão resultantes do experimento D coletadas respectivamente no mestre Profibus NX5001 e do escravo KD-2EA-P da plataforma de ensaio.

Figura 12a – Forma de onda da média de tensão medida no mestre no experimento D



Fonte: Autoria própria

Figura 12b – Forma de onda da média de tensão medida no escravo de endereço 15 no experimento D



Fonte: Autoria própria

O mestre Profibus NX5001 (endereço 0) apresenta formas de onda semelhantes nos experimentos A, B e C, ou seja, com nível mínimo de ruído, amplitudes de sinais próximos entre si (em torno de 4,3V), não apresenta reflexão, cabos quebrados ou falta/excesso de terminação na rede, assim como não ocorre curto-circuito entre os fios e o aterramento ou interferência eletromagnética. Já no experimento D, a forma de onda apresenta ruído e amplitude de sinal menor (aproximadamente 3,6V). Similar aos outros experimentos, não apresentam reflexão, cabos quebrados ou falta/excesso de terminação na rede, não ocorre curto-circuito entre os fios e o aterramento ou interferência eletromagnética, porém, por estar em corrosão, há um aumento do efeito filtro na comunicação, ocasionando a perda de bits e conseqüentemente a perda de dados.

O escravo KD-2EA-P (endereço 15) apresenta formas de onda semelhantes nos experimentos A, B e C, ou seja, com nível mínimo de ruído, amplitudes de sinais próximos entre si (em torno de 5,5V), não apresentam reflexão, cabos quebrados ou falta/excesso de terminação na rede, assim como não ocorre curto-circuito entre os fios e o aterramento ou interferência eletromagnética. No experimento D, a forma de onda apresentou ruído e reflexão, sendo a largura do ruído o indicador da distância do dispositivo até o problema, além de amplitude de sinal de aproximadamente 2,2V. Esse dispositivo não alcançou o mínimo de tensão, ocasionando falha de comunicação.

Os demais escravos apresentaram comportamento semelhante ao escravo de endereço 15, com resultados próximos ao ideal quando ensaiados nos experimentos A, B e C, além de perdas e retentativas no experimento D.

A tabela 4 apresenta uma avaliação (bom, regular ou ruim) da qualidade da forma de onda dos dispositivos (mestre e escravos) nos experimentos A, B, C e D.

Nessa tabela, os dispositivos avaliados como “Bom” apresentaram nível mínimo de ruído, os experimentos avaliados como “Regular” apresentaram ruídos que não implicam em problemas, mas se diferem das formas de onda ideais, já os dispositivos que foram avaliados com “Ruim”, todos no experimento D, apresentaram ruídos acima do normal, além de não alcançarem o mínimo de tensão (de 2,5V, de acordo com o Manual ProfiTrace), resultando em falha na comunicação.

Tabela 4: Qualidade dos sinais de onda dos dispositivos nos experimentos

Escravos	Experimento A	Experimento B	Experimento C	Experimento D
0 (mestre)	Bom	Bom	Bom	Regular
5	Bom	Regular	Bom	Ruim
10	Bom	Bom	Bom	Ruim
15	Bom	Bom	Regular	Ruim
20	Bom	Regular	Bom	Ruim

Fonte: Autoria própria

CONCLUSÃO

Os protocolos de redes industriais apresentam grande importância para o aumento da produtividade de uma empresa, de modo que uma rede mal estruturada pode causar diversos problemas na cadeia produtiva da mesma. Sabendo disso, os diagnósticos destas redes se tornam fundamentais para garantir uma boa comunicação entre o mestre e os escravos, de forma a garantir que nenhum tipo de problema possa ocorrer durante o processo produtivo.

Pensando nisso, o presente trabalho propôs a montagem de uma rede Profibus DP composta por um mestre (NX5001) e quatro escravos (NX1005, KD-2SA-P, KD-2EA-P e MBK-P), de modo a analisar o comportamento da rede para diferentes situações, sendo duas próximas do ideal, alterando apenas o comprimento do cabo, e duas condições adversas na rede (cabo úmido e em corrosão). Os resultados apresentados mostram que os cabos em condições ideais apresentam bom nível de sinal, variando entre 4,24 V e 5,17 V, valores bem acima

do mínimo exigido. Além disso, a partir das formas de onda obtidas no osciloscópio, pode-se observar que os sinais apresentam baixo ruído.

Porém, à medida em que a rede foi submetida a condições adversas, principalmente o cabo em corrosão, observou-se uma diminuição no nível do sinal, sendo que os valores de tensão variaram entre 2,18 V e 3,20 V, demonstrando que alguns dos escravos apresentam valores abaixo do mínimo exigido para uma boa comunicação. Além disso, por meio das formas de onda geradas pelo osciloscópio, é visto que ocorre aumento do ruído.

REFERÊNCIAS

Altus Sistemas de Informática S.A. **Manual de Utilização MasterTool IEC XE MT8500**. São Paulo: Altus, 2023.

Altus Sistemas de Informática S.A. **Manual de Utilização Mestre PROFIBUS-DP NX5001**. São Paulo: Altus, 2021.

Altus Sistemas de Informática S.A. **Manual de Utilização Série Nexto**. São Paulo: Altus, 2023.

Altus Sistemas de Informática S.A. **Manual de Utilização UCP Série Nexto NX3004**. São Paulo: Altus, 2022.

Altus Sistemas de Informática S.A. **Série Nexto – Características Técnicas**. São Paulo: Altus, 2022.

DIAS, Andre Luis; SESTITO, Guilherme Serpa; BRANDAO, Dennis. Performance analysis of Profibus dp and profinet in a motion control application. **Journal of Control, Automation and Electrical Systems**, v. 28, n. 1, p. 86-93, 2017.

FELSER, Max. Quality of Profibus installations. In: **2006 IEEE International Workshop on Factory Communication Systems**. IEEE, 2006. p. 113-118.

GABOR, Georgel et al. Application of Industrial PROFIBUS-DP Protocol. In: **2018 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE)**. IEEE, 2018. p. 0614-0617.

LIU, Jingyu; FANG, Yanjun; ZHANG, Dahai. PROFIBUS-DP and HART protocol conversion and the gateway development. In: **2007 2nd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications**. IEEE, 2007. p. 15-20.

MOSSIN, Eduardo André et al. Automatic diagnosis for Profibus networks. **Journal of Control, Automation and Electrical Systems**, v. 27, n. 6, p. 658-669, 2016.

MOSSIN, Eduardo André. **Diagnóstico automático de redes Profibus**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MURR Elektronik. **Catalog 2.4 MBK - Compact I/O modules**. Alemanha: MURR Elektronik, 2023.

Procentec. **ProfiTrace 2.9.2 User Manual**. Holanda: Procentec, 2015.

Sense Sensores e Instrumentos. **Manual de Instruções PROFIBUS DP, Módulo I/O - Analógico 2 Entradas**. São Paulo: Sense, 2013.

Sense Sensores e Instrumentos. **Manual de Instruções PROFIBUS DP, Módulo I/O - Analógico 2 Saídas**. São Paulo: Sense, 2012.

SESTITO, Guilherme Serpa et al. Artificial neural networks and signal clipping for Profibus DP diagnostics. In: **2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)**. IEEE, 2014. p. 242-247.

SILVA, Wladimir. Métodos para Diagnóstico de Falhas e Avaliação de Desempenho em Redes PROFIBUS DP. **Monografia (Especialização em Automação Industrial) –Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte**, 2008.

SOUZA, Rafaela Castelhana de. **Diagnóstico da camada física de redes Profibus DP baseado em redes neurais artificiais**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

VERHAPPEN, Ian; PEREIRA, Augusto. **Foundation Fieldbus, Fourth Edition**. ISA, 2013.

VITTURI, Stefano. DP-Ethernet: the Profibus DP protocol implemented on Ethernet. **Computer communications**, v. 26, n. 10, p. 1095-1104, 2003.

VITTURI, Stefano. On the effects of the acyclic traffic on Profibus DP networks. **Computer Standards & Interfaces**, v. 26, n. 2, p. 131-144, 2004.