

# APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA ETHERNET NOS DIVERSOS NÍVEIS DE REDE DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL<sup>1</sup>

Como uma tecnologia de rede originalmente de computadores e periféricos evoluiu e se difundiu a ponto de substituir consagrados padrões de rede industriais, provando ter melhores desempenho, confiabilidade, robustez, abertura tecnológica e relação custo-benefício

*Henrique Monferrari Maria<sup>2</sup>*

## Resumo

Este trabalho tem por objetivo demonstrar como uma tecnologia de rede originalmente desenvolvida em laboratórios para a comunicação entre computadores se desenvolveu a ponto de se tornar o padrão de rede industrial que mais cresce na atualidade, desbancando tradicionais e confiáveis soluções de comunicação. Por se tratar de um padrão aberto e de grande aceitação, diversos fabricantes se envolveram no desenvolvimento da tecnologia original de maneira a adaptá-la às necessidades de comunicação dos sistemas de automação industrial. Os resultados desta busca generalizada por melhor relação entre custo e benefício podem ser medidos pelo avanço estatisticamente comprovado da Ethernet como meio de troca de dados entre dispositivos de controle e supervisão industriais. Ganham os usuários finais, pelos menores custos, maior sinergia entre sistemas industriais e por não mais estarem vinculados a um único fornecedor, ganham os integradores de sistemas por trabalharem com um padrão de rede aberto e extremamente flexível, assim como os próprios fabricantes pelo contínuo aprimoramento da tecnologia, barateando custos.

**Palavras-chave:** Redes industriais; Ethernet; Controladores lógicos programáveis.

## APPLICATION OF ETHERNET TECHNOLOGY IN THE VARIOUS LEVELS OF INDUSTRIAL AUTOMATION NETWORK

### Abstract

This paper aims to demonstrate how a technology originally conceived for communication between computers evolved until becoming the networking standard with the highest growing rates in industry today, beating traditional and trusted communication solutions. Because it is an open standard and widely accepted, several manufacturers engaged in the development of the original technology in order to adapt it to the communication needs of industrial automation systems. The results of generalized search for a better relationship between cost and benefit can be measured by the statistically proven increase of Ethernet as a means of exchanging data between industrial control and supervision devices. End-users are favored by lower costs, greater synergy between industrial systems and for no longer being tied to one only supplier, systems integrators are favored by working with an open-standard and extremely flexible network and the manufacturers themselves by continually improving the technology, lowering costs.

**Keywords:** Fieldbuses; Ethernet; Programmable logic controllers.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 14º Seminário de Automação de Processos, 6 a 8 de outubro de 2010, Belo Horizonte, MG.*

<sup>2</sup> *Graduação em Engenharia Elétrica com certificação em Engenharia de Computação pela UFMG; consultor de soluções em automação pela Schneider Electric*

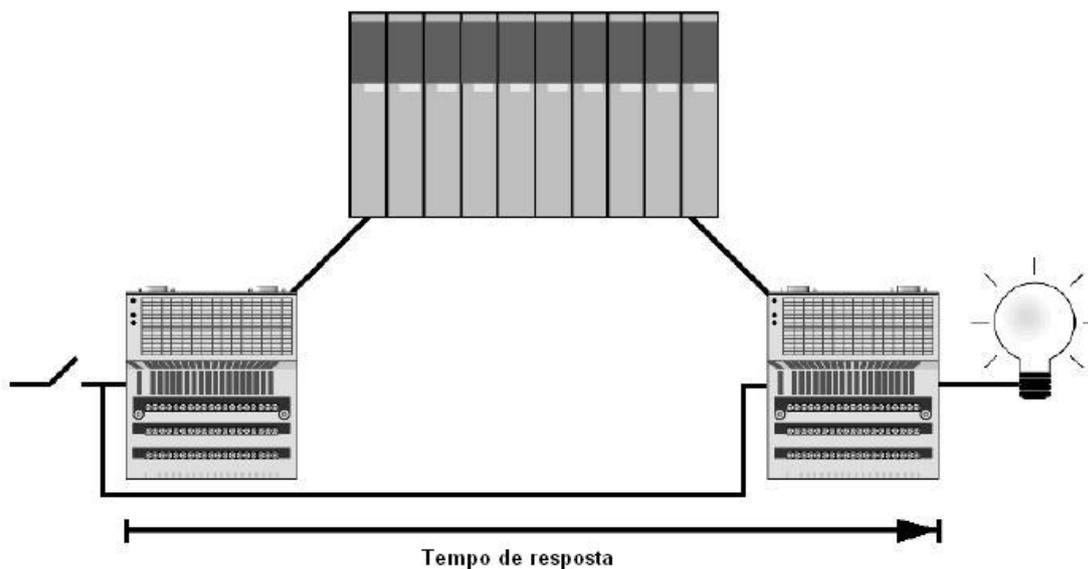
## 1 INTRODUÇÃO

A pesquisa científica com a finalidade de desenvolver uma tecnologia de redes entre computadores e periféricos, tais como uma impressora, deu origem ao padrão Ethernet. O trabalho conjunto de grandes fabricantes de hardware de computação fez com que este emplacasse e desbancasse grandes concorrentes da época, em meados de 1979, como os sistemas proprietários *token ring* e ARCNET. A evolução dos sistemas SCADA na década de 1980 contou com o suporte da tecnologia Ethernet, mas esta não chegou a ser significativamente utilizada como padrão de rede de campo entre controladores industriais e outros dispositivos inteligentes. Entretanto, a contínua evolução deste conjunto de definições de cabeamento, sinais elétricos e protocolos culminou no início da sua utilização na década de 90 em redes agora entre controladores e dispositivos, respeitando e na verdade superando as exigências técnicas de ambientes industriais agressivos. Como em outros momentos da história das tecnologias, os principais fornecedores de equipamentos de automação industrial rapidamente deram foco à Ethernet como rede de campo, promovendo uma rica e interessante disputa pelo pioneirismo neste novo uso do antigo padrão. Com o avanço da instalação em grandes indústrias, a confiança foi crescendo à medida em que se conseguia não apenas obter o mesmo desempenho dos tradicionais padrões de rede industriais, mas superá-los em termos de performance, menores custos, abertura e, principalmente, uma infinidade de possibilidades no que tange à transparência e integração entre sistemas como, por exemplo, o de gestão de energia e o de automação.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A busca pela aplicação da tecnologia Ethernet não mais apenas como rede de supervisão ou corporativa, mas como rede de controle e até mesmo de instrumentação, mais recentemente, levou os fabricantes de equipamentos de automação industrial a estabelecerem novos padrões a partir do original. O protocolo de rede industrial mais difundido, o Modbus, levou seu fabricante a empregar uma combinação das camadas do modelo OSI (*Open Systems Interconnection*) com o próprio Modbus trabalhando na sétima camada, criando o conceito de transparência total.

A fim de testar a previsibilidade desta associação Ethernet / Modbus como rede de dispositivos, foram usadas duas remotas de mercado modelo Momentum, com base única de entradas e saídas mistas e um PLC central modelo Quantum com porta ethernet incorporada. Os controladores foram ligados em rede através de cabos STP categoria 5e, conectores metálicos e um switch Connexium de 24 portas. A Figura 1 ilustra de maneira simplificada a montagem entre as duas remotas e o PLC central (arquitetura de rede em estrela).



**Figura 1** – Aparato montado para avaliar comportamento do tempo de resposta da rede.<sup>(1)</sup>

De maneira resumida, uma chave com dois blocos de contato é acionada, sendo um dos contatos conectado à primeira base remota e o outro contato conectado à segunda base remota. Desta forma, ao fechar a chave, ambas as bases percebem simultaneamente a mudança no sinal. O sinal da primeira base é escaneado (*I/O scanning*) via rede Ethernet pelo PLC central que, por sua vez, aciona também via rede uma saída da segunda base. Esta segunda base, uma vez que também possui processamento interno, dispara um temporizador a partir da comutação elétrica da chave e finaliza a medição ao receber, por rede, o sinal para acionar uma de suas saídas. Cada medição é repetida vinte vezes a fim de se eliminar eventuais desvios, obtendo um valor médio final consistente. O experimento é repetido para as variações de 2, 8, 16 e 32 dispositivos escaneados via rede, bem como para as variações de tempo de varredura do PLC de 10 ms a 200 ms. Os dados obtidos serão devidamente analisados e discutidos.

## 2.1 Camadas do Modelo OSI e Conjugação com o Modbus

Inicialmente, vale a explicação de que os protocolos TCP/IP (similarmente aos IPX/SPX e NetBEUI) tiveram origem anterior ao modelo OSI – este mais didático e tido como ideal – mas nem por isso fica inviável realizar uma equivalência entre eles. Tal correspondência pode ser vista na Figura 2, onde pode-se ver que algumas camadas do protocolo TCP/IP representam mais de uma camada do modelo OSI.



Figura 2 – Modelo OSI de camadas de rede e equivalência com o TCP/IP.<sup>(2)</sup>

Desta forma e conforme mencionado anteriormente, o Modbus entraria na sétima camada do modelo OSI, gerenciando as transações de dados entre endereços de memória dos dispositivos. A este novo protocolo chamou-se Modbus TCP. Outros fabricantes utilizam seus próprios protocolos de maneira similar, por exemplo Profibus e CIP (*Common Industrial Protocol*), montando-os sobre a sétima camada, originando respectivamente o Profinet e o Ethernet IP.

## 2.2 Uso dos Serviços Modbus TCP sobre os Protocolos

Para uma grande flexibilidade no uso, os serviços Modbus TCP precisam ser implementados sobre os diversos protocolos. Este talvez seja o grande diferencial do padrão Ethernet, pois pode-se, por exemplo, a partir do protocolo UDP (*User Datagram Protocol* - e não do TCP) associar um endereço IP a um dispositivo industrial via serviço FDR (*faulty device replacement*) da mesma maneira que um computador pessoal busca um endereço IP ao se conectar em uma rede corporativa – via protocolo DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*). De maneira mais sucinta, o serviço FDR solicita um endereço IP ao protocolo DHCP, que por sua vez traduz e solicita para a camada de transporte UDP. Esta é mais simples e rápida do que a TCP (mas não possui a mesma engenhosidade de controle), seguindo-se o interfaceamento de maneira análoga nas camadas inferiores. A Figura 2 ilustra tal interação entre os diversos protocolos e serviços:

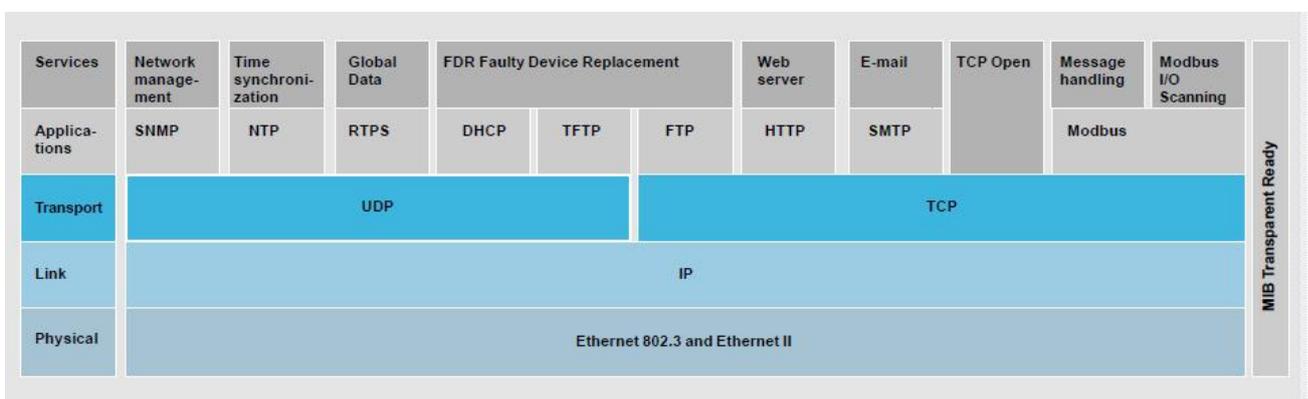


Figura 3 - Arquitetura *transparent ready* dos serviços e protocolos de aplicação úteis sobre o TCP/IP.

Este simples, mas poderoso recurso citado como exemplo, o FDR, permite que um dispositivo seja substituído na rede sem necessidade de parametrização via notebook. As informações como endereço IP e parametrização do dispositivo (por exemplo, um relé de acionamento de motor de baixa tensão) ficam salvas em arquivo binário no próprio cartão de comunicação Ethernet do PLC. Desta forma, logo após associar um endereço IP ao dispositivo substituído, o cartão descarrega instantaneamente todos os parâmetros para o este via protocolo TFTP (*Trivial File Transfer Protocol*), similar ao FTP mas destinado a pequenos arquivos.

Outro recurso importante ao tratar da comunicação entre diversos controladores é o mecanismo de publicação – subscrição de informações. Não é necessário criar comunicações ponto a ponto entre todos os nós se estes forem usar as mesmas informações originárias de um único nó; basta que este nó de origem publique tais informações via serviço *Global Data* e os nós interessados se inscrevam, recebendo simultaneamente os dados.

A gestão da rede pode ser totalmente feita via software em micro conectado à mesma, usando-se do protocolo SNMP – *Simple Network Management Protocol* – destinado exclusivamente a este fim. Com este recurso, pode-se, por exemplo, avaliar a saúde de cada nó de rede, utilização da banda, levantamento de topologia, entre outros inúmeros recursos de gestão.

### **2.3 O Controle Sobre Modbus TCP: Há Determinismo?**

Talvez a questão que mais tenha pairado no ar durante todos os anos em que a Ethernet foi cogitada para servir como rede de controle tenha sido em relação ao determinismo. Se estamos abandonando uma rede, por exemplo, do tipo passagem de bastão (*token ring*, onde cada dispositivo só inicia uma comunicação se possui o bastão), que garantias teríamos ao migrar para um padrão onde é possível que mais de um nó tente se comunicar ao mesmo tempo, provocando possível colisão de pacotes e perda de dados?

Para se responder a esta questão, faz-se necessário compreender o conceito de determinismo. Ao contrário do que se pregou durante anos, o determinismo não está no fato de se saber qual nó precisamente está transmitindo dados, mas sim qual o tempo de resposta de cada nó diante de uma solicitação, por exemplo, do sistema SCADA para ligar um motor de uma bomba no campo. Tal comando chega ao PLC que, fazendo uso do serviço Modbus TCP chamado Modbus I/O Scanning, dispara uma comunicação direta para o relé inteligente acionar o motor. Este tempo de resposta deve ser previsível e limitado, o que é perfeitamente plausível a partir de tantos avanços da tecnologia Ethernet, tais como o método de acesso CSMA-CD e o intrincado mecanismo de transporte e controle TCP.

#### **2.3.1 CSMA-CD – *Carrier sense multiple access with collision detect***

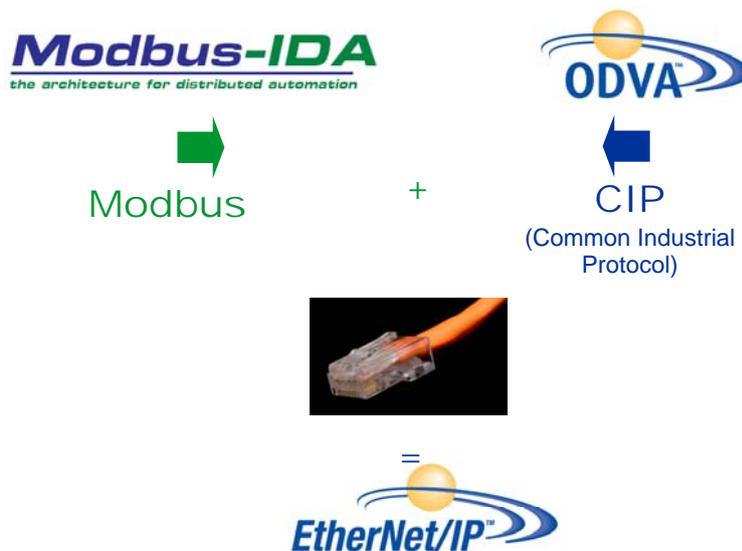
Método capaz de detectar o uso do canal (detecção de portadora) e permitir acessos múltiplos, inclusive detectando colisões caso ocorram. Com o uso de *switches full duplex*, praticamente se extinguiram as colisões – a menos que haja algum dispositivo *half duplex* na rede – o que é raro de se ver em se tratando de equipamentos novos. No pior caso, onde haveria colisões, este método de acesso garante a minimização das perdas de dados que são retransmitidos em altíssima velocidade (no mínimo 10 Mbps, usualmente 100 Mbps e não raro 1 Gbps)

### 2.3.2 TCP – *Transmission control protocol*

Protocolo responsável pelo transporte dos dados e controle de entrega dos datagramas (pacotes). Desta forma, um pacote perdido em uma colisão é retransmitido em tempo da ordem de milissegundos, garantindo a entrega de todos os pacotes em tempo hábil e, obviamente, a reconstrução dos dados originais no destinatário. Devemos nos lembrar de que um arquivo, por exemplo, deve ser fracionado e acondicionado em datagramas antes de ser transportado para ser reconstruído no receptor logo após a transmissão, sendo, portanto, imprescindível um mecanismo de controle totalmente confiável.

### 2.4 Intercambiabilidade entre Padrões de Fabricantes Distintos

A fim de garantir a compatibilidade entre os protocolos industriais gerenciando as demais camadas de rede, deve haver intercambiabilidade entre tais protocolos. Para garantir isto, a ODVA, tradicional entidade homologadora de padrões de rede industrial, definiu um novo conceito, compatível com dois anteriores – Modbus TCP e Ethernet IP. O Ethernet IP trabalha de maneira similar ao Modbus TCP, mas o protocolo envolvido na sétima camada é o CIP – common industrial protocol – que é o núcleo de diversas redes como DeviceNet e ControlNet. Este novo padrão é também chamado de Ethernet IP.



**Figura 4** – Compatibilização entre Ethernet IP e Modbus TCP.

Desta forma, se garante a compatibilidade dos cartões de comunicação de ambos os fabricantes com todo e qualquer nó de rede Ethernet destes padrões, sejam eles condizentes ou não com o novo padrão; basta que estes módulos de comunicação o sejam. Grosso modo, isto significa plena compatibilidade entre aproximadamente 50% do mercado de ethernet industrial, o que provavelmente deve ditar as tendências em termos de padronização desta tecnologia em suas aplicações industriais, como tem sido percebido.

### 2.5 Diferenças entre Ethernet Comercial e Industrial

Embora os princípios de funcionamento sejam similares, há enormes diferenças entre os sistemas em Ethernet voltados para ambientes comerciais e industriais.

	COMERCIAL	INDUSTRIAL
Densidade de portas	ALTA	BAIXA
Cablagem usada	UTP Cobre	STP, MMF, SMF
Retorno da redundância	1-60 S	< 500ms
Temperatura de operação	0-45 C	0-60 C
Proteção umidade/poeira	NÃO	POSSÍVEL
Montagem	Rack 19"	Trilho DIN
Alimentação	110/220/240 Vac	24 Vdc
Alimentação redundante	Opcional	Standard
Aterramento (cabo STP)	NÃO	SIM
Proteção EMC	BAIXA	ALTA

Figura 5 – Comparativo entre características de redes comerciais e industriais.<sup>(3)</sup>

Tais disparidades se devem à natureza dos ambientes, ao tipo de comunicação envolvida em termos de aplicação e, por fim, à criticidade e confiabilidade do sistema como um todo, requisitos do usuário. Em um sistema comercial, por exemplo, há intenso tráfego de rede e grande ocupação da largura de faixa (*bandwidth*) devido aos tipos de aplicação em uso. Um exemplo comum é o uso da rede para visualização de vídeos (*streaming*), que necessita de um QoS (*quality of service*) específico para garantir a intelegibilidade do vídeo e, principalmente, do áudio. O efeito prático disto é um enorme tráfego de dados e grande ocupação do canal de comunicação. Em uma rede deste tipo fica impossível garantir o determinismo necessário para controle de processos, já que circulam muitos pacotes de tamanho considerável.

Por outro lado, em se tratando de um sistema industrial as aplicações em uso disparam grande volume de pacotes, mas de tamanho reduzido, o que significa baixíssima utilização do canal. Esta grande disponibilidade da rede permite que haja determinismo, e não obstante há ainda diversos mecanismos de controle – a limitação de tráfego por nó é um deles – para prevenir e remediar efeitos adversos, como por exemplo, a conexão de um notebook à rede de controle para baixar grandes arquivos.

## 2.6 Recursos de Arquiteturas de Rede

Uma das grandes vantagens e que também propicia a rápida difusão da Ethernet industrial é a diversidade de possibilidades em termos de arquitetura física, conforme pode ser observado nas figuras abaixo. Podemos destacar:

- *layout* da rede é flexível e não mais restrito por regras antigas;
- *bandwidth* alto permite projetar layout de rede sem levar em conta a carga
- várias topologias podem ser usadas:
  - barramento;
  - estrela;
  - anel;
  - malha;
  - *daisy chain* (cascata);

- topologias podem ser combinadas entre si;
- número de *switches* ilimitado (à exceção de 50 *switches* em topologia anel *HIPER-ring*)

Talvez uma das mais atraentes características desta tecnologia seja a grande variedade de opções no que tange a arquiteturas, principalmente em termos de redundância. Há protocolos específicos para gerenciamento e reestabelecimento de redes redundantes como, por exemplo, RSTP (*Rapid Spanning Tree Protocol*), ERSTP (*Enhanced Rapid Spanning Tree Protocol*), *HIPER-Ring*.

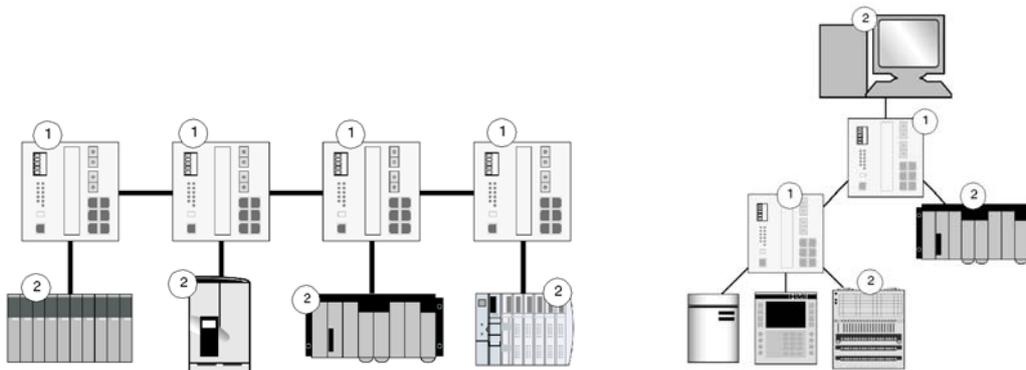


Figura 6 - Topologias de rede em barramento (*bus*) e estrela (*star*).

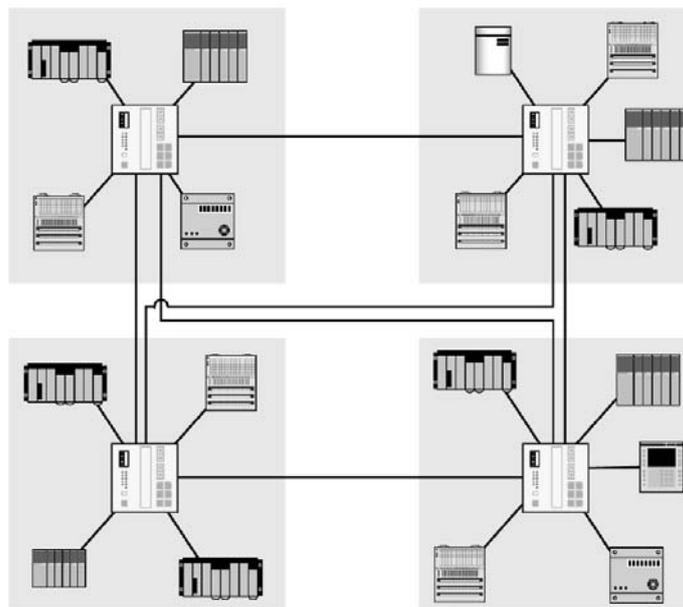


Figura 7 - Topologia de rede em malha (*mesh*).

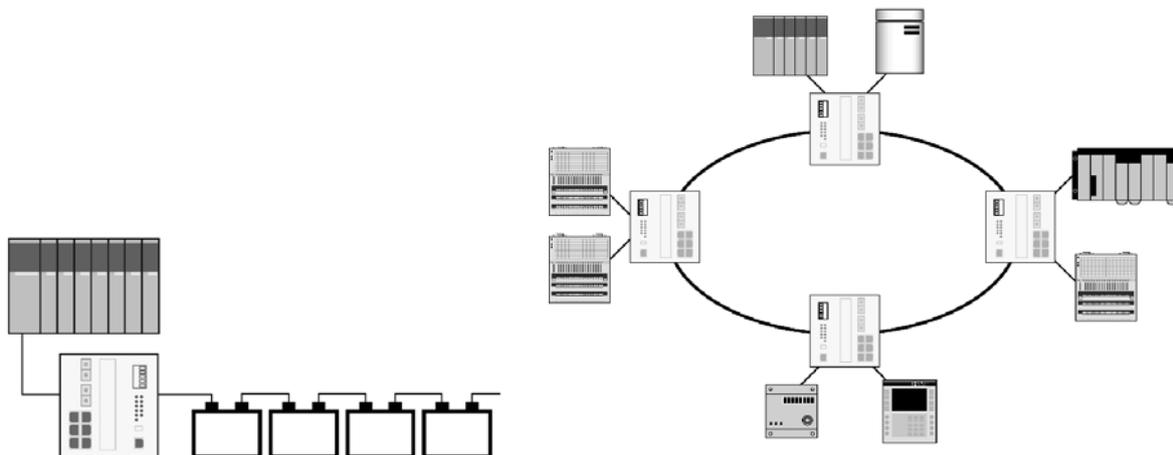


Figura 8 - Topologias de rede em cascata (*daisy-chain*) e anel (*ring*).

### 3 RESULTADOS

Os dados obtidos através das médias de tempo de resposta seguem logo abaixo. É importante ressaltar que os tempos obtidos correspondem aos transcorridos em duas transações de rede.

Número de dispositivos em I/O scanning	Tempo de resposta (ms) medido entre acionamento da chave (entrada – remota 1) e acionamento da saída (remota 2)				
	Tempo de scan de 10ms	Tempo de scan de 20ms	Tempo de scan de 50ms	Tempo de scan de 100ms	Tempo de scan de 200ms
CPU Quantum com porta Ethernet					
2 dispositivos	25	46	112	220	409
8 dispositivos	26	47	113	222	412
16 dispositivos	28	49	115	223	423
32 dispositivos	42	62	129	241	443

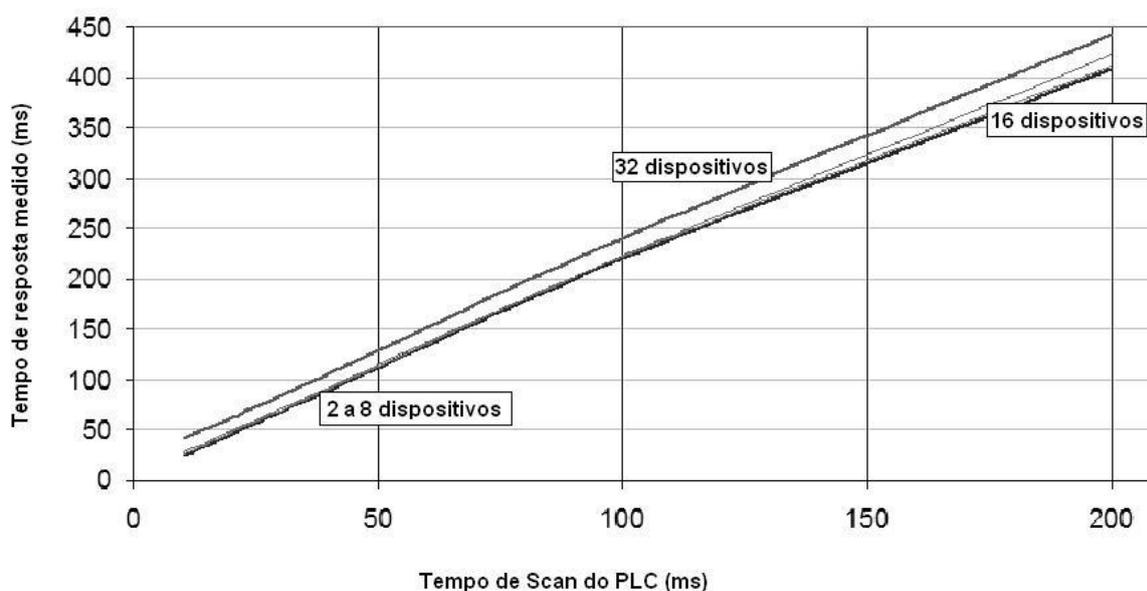


Figura 9 - Gráfico tempo de resposta x tempo de scan do PLC.<sup>(4)</sup>

Como pode-se perceber pelos gráficos obtidos e superpostos, há correlação linear entre tempo de resposta do sistema e tempo de scan do PLC diante de variadas configurações de *I/O scanning* (2, 8, 16 ou 32 dispositivos escaneados). O simples fato de ser previsível e limitado o tempo de resposta do sistema se traduz em respostas determinísticas para sistemas de controle industriais. Obviamente, não basta ser limitado o tempo de resposta, mas sim ser limitado a uma faixa de valores compatível com os sistemas de controle de processo – aí sim, as respostas podem ser ditas suficientes.

Finalizando a questão do determinismo e agora nos referindo a mensagens ponto a ponto de um para vários dispositivos (*multicast*), ensaios laboratoriais de comunicação Ethernet entre dispositivos eletrônicos inteligentes (*IED's*) de subestações – realizados pelo fundador e presidente da Rugged.com, Marzio Pozzuoli – comprovam que há correlação linear entre a utilização do canal e as variáveis tamanho do quadro multicast, tempo de resposta do consumidor IGMP e número máximo de produtores IGMP.

Effect of multi-cast messaging-based data collection on Uplink Bandwidth				
Frame Size (Bytes)	Consumer IED Reporting Period (ms)	Uplink Bandwidth Available (Mb/s)	Percent Utilization of Consumer Uplink (%)	Max # Possible Producer IEDs (See Note)
64	1	100	0.512	195
64	0.5	100	1.024	97
64	0.25	100	2.048	48
64	0.1	100	5.12	19
128	1	100	1.024	97
256	1	100	2.048	48
512	1	100	4.096	24
128	0.5	100	2.048	48
256	0.25	100	8.192	12
512	0.1	100	40.96	2

**Bandwidth scales linearly allowing for a wide variety of possible configurations.**

**Support of IGMP (Internet Group Management Protocol) allows for multicast message filtering and producer-subscriber groupings. Equivalent Layer 2 protocol is – GMRP.**

**Figura 10** – Resultado de ensaio laboratorial que demonstra linearidade de ocupação do canal diante de situações diversas de mensagens multicast.<sup>(5)</sup>

Não obstante, utilizando os recursos de gerenciamento de switches industriais apropriados (*storm protection*), pode-se limitar este tipo de “tempestade de dados” se assim for, reduzindo ainda mais a possibilidade de atrasos na comunicação.

#### 4 DISCUSSÃO

A exemplo de outras padronizações técnicas, como recentemente pôde ser visto no embate HD-DVD e *Blu-Ray* e há mais tempo entre VHS e Betamax, o sucesso ou fracasso de uma tecnologia está muito mais ligado a questões comerciais e de marketing do que técnicas propriamente ditas. Obviamente, estas últimas são importantíssimas – talvez as mais – mas há uma complexa equação que define os pesos de cada um destes fatores determinantes na escolha de um padrão de rede industrial.

Uma questão que sempre é levantada por usuários finais durante palestras, feiras e congressos é recorrente:

- Como posso confiar em um sistema que se baseia nos mesmos princípios de rede da internet que uso em casa, já que ao assistir vídeos, ouvir músicas ou receber e-mails muitas das vezes há alguma corrupção nos dados?

A dúvida é comum e, diga-se passagem, possui um certo fundamento. Se partíssemos para o controle industrial com os mesmos subsídios técnicos usados na Internet, que garantias teríamos? O desconhecimento do atual nível de evolução da Ethernet industrial permite que tais dúvidas e tabus similares se propaguem, mas em contrapartida o crescente número de indústrias que adotam esta tecnologia provoca, no mínimo, a curiosidade do usuário final. Normalmente, este busca referências de sucesso em aplicações práticas ao invés de resultados e análises de ensaios laboratoriais.

## 5 CONCLUSÃO

O ensaio realizado demonstra em laboratório o que ocorreria em uma situação real e análoga: se temos uma resposta em tempo hábil e limitado a um comando crítico de desligar emergencialmente um motor, por exemplo, então o sistema é determinístico e atende na prática a esta exigência industrial. Levando-se em consideração que um tempo de *scan* típico de PLC está situado na ordem de grandeza de 100ms e que os valores medidos correspondem a duas transações de rede Ethernet – o dobro do tempo, portanto – o sistema como um todo supera as expectativas em termos de controle e automação industrial.

Como o sucesso da Ethernet não depende apenas de fatores técnicos conforme explicitado, é extremamente gratificante para quem pesquisa e estuda temas como este perceber que esta brilhante e inovadora tecnologia, tradicionalmente rechaçada como fieldbus, tende a ser o padrão do futuro. Novamente, os sistemas industriais têm evoluído acompanhando as tendências mundiais no que tange à relação custo-benefício, à penetração no mercado e aos subsídios técnicos. Acredito que cada vez mais a globalização dos conhecimentos tende a derrubar as fronteiras tecnológicas, difundindo os padrões abertos como este em epígrafe e favorecendo seu aprimoramento contínuo, beneficiando a todos os envolvidos.

## Agradecimentos

A Rogério Ribeiro da Silva Martins, Sérgio Cordeiro, Lino Garzón Sandoval, Daniel Milani Galletti.

## Referências de aplicações práticas

Exemplos de instalações industriais automatizadas sobre Modbus TCP são inúmeros – seguem alguns no Brasil para ilustração:

- Ferrous Resources, Brumadinho, MG;
- Anglo Ferrous, Pedra Branca do Amapari, AP;
- Sadia, Brasília, DF;
- Inova Biotecnologia, Juatuba, MG;
- Cargill, Primavera do Leste, GO;
- Usina Canavieira Total, Brumadinho, MG; e
- Natura, São Paulo.

## REFERÊNCIAS

- 1 MARIA, Henrique Monferrari. Aplicação da Tecnologia Ethernet nos diversos níveis de rede de automação industrial. LXV Congresso Internacional da ABM. Julho de 2010.
- 2 POZZUOLI, Marzio P. Industrial Ethernet – Issues and Requirements. Janeiro de 2003. Disponível em: <http://www.ruggedcom.com>. Acesso em março de 2010
- 3 TORRES, Gabriel e LIMA, Cássio. O Modelo de Referência OSI para Protocolos de Rede. Abril de 2007. Disponível em: <http://www.clubedohardware.com.br> . Acesso em março de 2010.
- 4 PETERSON, Larry L, DAVIE, Bruce S. Computer Networks. Morgan Kaufman Publishers. 1996.
- 5 STEVENS, L. Transparent Ready User Guide. Outubro de 2009. Disponível em: 9 <http://www.schneider-electric.com> . Acesso em março de 2010
- 6 Open DeviceNet Vendors Association. Ethernet IP Infrastructure Guidelines. Março de 2007. Disponível em: <http://www.odva.org> . Acesso em março de 2010