

# Aplicação em HART Envolvendo Sensores de Temperatura

Alexandre Baratella Lugli, George Emidio Nissola & José Vitor de Oliveira Júnior  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

**Abstract** — This article aims to describe a study on the HART network, describing its operation, its main characteristics and topology. Through practical trials using two types of temperature transmitters, it demonstrates its operation.

**Index Terms** — HART, Industrial Networks, Topology.

**Resumo** — Este artigo tem como objetivo, descrever um estudo sobre a rede HART, mostrando o seu funcionamento, suas características principais e topologia. Através de testes práticos utilizando dois modelos de transmissores de temperatura, comprova-se o seu funcionamento.

**Palavras chave** — HART, Redes Industriais, Topologias.

## I. INTRODUÇÃO

A tecnologia HART (do inglês, Via de Dados Endereçáveis por Transdutor Remoto) surgiu no final dos anos 80, com base na mesma tecnologia que trouxe o identificador de chamadas para a telefonia analógica. É um protocolo de comunicação bidirecional que possibilita o acesso a dados entre instrumentos de campo inteligentes e sistemas *host* (centralizado).<sup>[1]</sup>

O objetivo deste artigo é descrever um estudo sobre a rede HART, ilustrando seu funcionamento, suas características e, através de um experimento prático feito em laboratório, realizar as configurações remotas, realizar as métricas de tempo de varredura e validar o funcionamento utilizando dois modelos de transmissores de temperatura. Assim, será possível verificar o funcionamento e operação da rede com a operação dos instrumentos de campo.

## II. PROTOCOLO HART

### A. Funcionamento

O protocolo HART utiliza como padrão de chaveamento o Bell 202 deslocamento de frequência (FSK) para sobrepor os sinais de comunicação digital sobre o sinal de 4-20mA. Como o sinal é digital FSK simétrico em relação ao zero, ele não interfere no sinal de 4-20mA. Com isso a rede HART permite o envio e recebimento de informações digitais através de cabos analógicos, entre dispositivos inteligentes e sistemas de controle ou monitoramento, facilitando configuração e reconfiguração de dispositivos, diagnósticos de dispositivos, identificação e resolução de problemas com dispositivos, leitura dos valores de medição adicionais fornecidos pelo dispositivo e *status* de dispositivos. O nível lógico 1 é representado por uma frequência de 1200Hz e o nível lógico 0

é representado por uma frequência de 2200Hz, como mostrado na figura 1.<sup>[2]</sup>

O sinal HART se propaga há uma taxa de 1200 bits por segundo (bps), sem que haja a interrupção do sinal analógico de 4-20mA, permitindo, assim, uma aplicação do tipo mestre-escravo, tornando possível duas ou mais atualizações por segundo de um único instrumento.<sup>[2]</sup> A figura 1 ilustra a comunicação do sinal analógico de 4-20mA sobreposto ao sinal FSK.

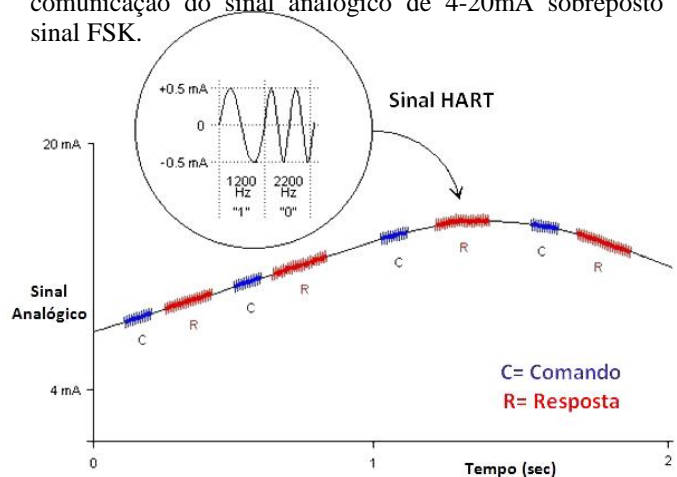


Figura 1. Sinal FSK sobre o sinal de corrente de 4 a 20mA.<sup>[2]</sup>

O HART é um protocolo do tipo mestre-escravo, isso significa que um instrumento de campo somente responde quando for perguntado por um mestre. Em uma rede HART dois mestres sendo um primário e um secundário podem se comunicar com um instrumento escravo. O mestre secundário pode ser conectado em qualquer ponto da rede e comunicar com qualquer escravo sem provocar distúrbio de comunicação com o mestre primário.<sup>[2]</sup>

### B. Topologia

Há diversas maneiras de se usar o protocolo HART para trocar informações com os instrumentos de campo inteligentes. Na rede HART pode-se destacar duas topologias: ponto a ponto e multiponto, uma modalidade opcional de comunicação que também pode ser usada na rede HART é o *burst*.<sup>[2]</sup>

A topologia ponto a ponto é a mais usada devido a sua facilidade e por servir como base para outras topologias. Neste

modo de topologia, a informação proveniente do escravo é atualizada duas vezes por segundo no mestre, ou seja, cada ciclo dura cerca de 500ms. <sup>[2]</sup>

Outra maneira opcional de comunicação é o *burst*. Esse tipo permite que um único escravo envie continuamente uma resposta padrão HART. Com isso, o mestre não precisa ficar repetindo um comando de solicitação para atualizar a informação da variável. Neste caso, a taxa de atualização de dados dura cerca de 3 a 4 segundos, podendo variar de acordo com o comando escolhido. Este modo só pode ser utilizado quando existir um único escravo na rede. As figuras 2 e 3 representam uma ligação ponto a ponto e *burst*. <sup>[2]</sup>

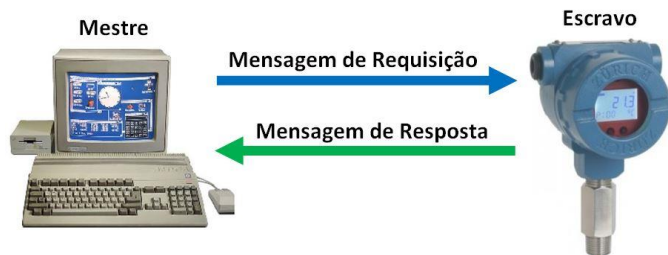


Figura 2. Comunicação HART mestre – escravo. <sup>[2]</sup>

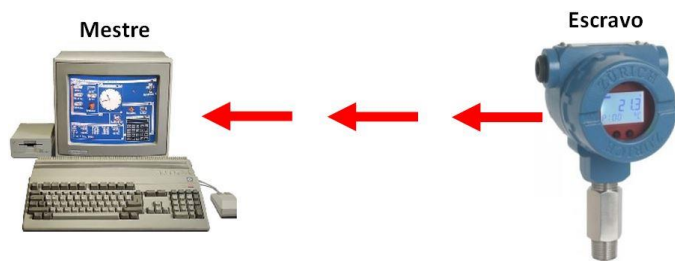


Figura 3. Modo Burst ou Broadcast. <sup>[2]</sup>

No caso multiponto a rede HART tem a capacidade de conectar até 15 instrumentos de campo em um mesmo par de fios como mostrado na figura 4. <sup>[1]</sup>

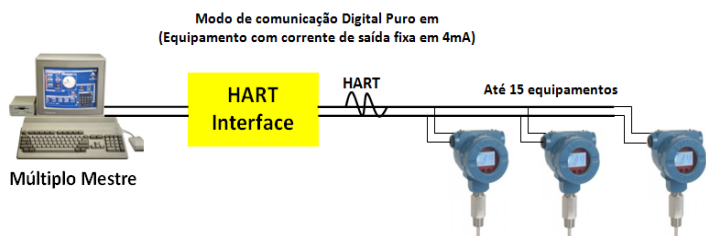


Figura 4. Modo multiponto. <sup>[1]</sup>

Neste tipo de configuração, o sinal de corrente é fixo e somente a comunicação digital é limitada ao mestre e escravo. O valor de corrente de cada instrumento é mantido no seu nível mínimo de 4mA. A grande dificuldade deste tipo de ligação é que o tempo para leitura de cada escravo é cerca de 500ms, ou seja, se for utilizado 15 escravos este tempo será de 7,5 segundos, aproximadamente, o que o torna muito lento dependendo da aplicação. <sup>[1]</sup>

### C. Cabeamento

Neste tipo de rede é utilizado um cabo par trançado, onde é importante estar atento a capacitância do cabo associada à quantidade de equipamentos, pois interfere diretamente na distância máxima da rede. Para redes com longas distâncias é recomendado cabo com blindagem e aterramento feito em um único ponto da instalação, de preferência ao negativo da fonte de alimentação. Cabos sem blindagem podem ser usados para distâncias curtas. <sup>[3]</sup>

Esta rede pode chegar a, no máximo, 3.000 metros se ligado com cabo de bitola #20 AWG (0,8 mm) e a 1.500 metros se ligado com a bitola mínima recomendada é #24 AWG (0,5 mm). <sup>[3]</sup>

Em relação ao aterramento, deve-se ter uma impedância baixa, com capacidade de dreno suficiente para conduzir e prevenir picos de tensão. Devem-se evitar múltiplos terras. <sup>[3]</sup> A tabela I mostra os comprimentos possíveis em função do número de equipamentos instalados e capacitância do cabo.

Equipamento do mesmo par	Capacitância Intrínseca do cabo			
	65pF/m	95pF/m	160pF/m	225pF/m
1	2769 m	2000 m	1292 m	985 m
5	2462 m	1815 m	1138 m	892 m
10	2154 m	1600 m	1015 m	769 m
15	1846 m	1415 m	892 m	708 m

Tabela I. Comprimento máximo em relação à capacitância. <sup>[3]</sup>

### D. Tipo de Acesso ao Meio

Em 98% das aplicações é utilizado o meio de acesso mestre-escravo onde toda a comunicação é iniciada pelo mestre. O instrumento de campo (escravo) somente “responde” quando houver um pedido para ele. Dois mestres (primário e secundário) podem se comunicar com os instrumentos em uma rede HART, permitindo gerenciar os dispositivos, alterar suas configurações e identificar possíveis falhas no processo. Os mestres secundários, como os terminais portáteis, podem ser conectados normalmente em qualquer ponto da rede e se comunicar com os instrumentos de campo sem provocar distúrbios na comunicação com o mestre primário, isto é possível porque possuem um *modem* FSK integrado. O mestre primário é tipicamente um sistema digital de controle distribuído (SDCD), um controlador lógico programável (CLP), um controle central baseado em computador ou um sistema de monitoração. A figura 5 ilustra uma instalação típica com dois mestres. <sup>[4]</sup> <sup>[5]</sup>

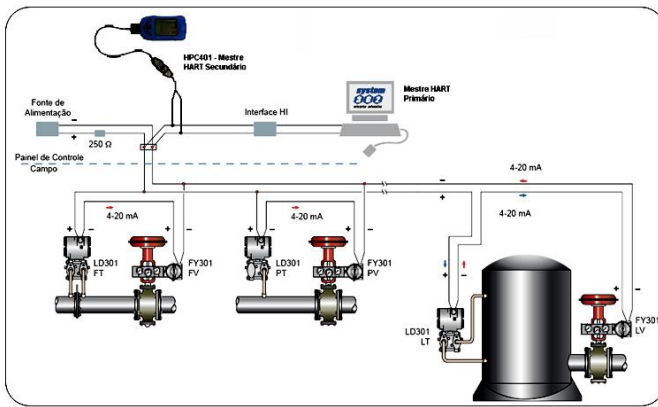


Figura 5. Ligação do mestre secundário. [5]

A figura 6 ilustra o quadro (ou *frame*) de dados trafegado no barramento HART a cada comunicação realizada entre os instrumentos. [6]

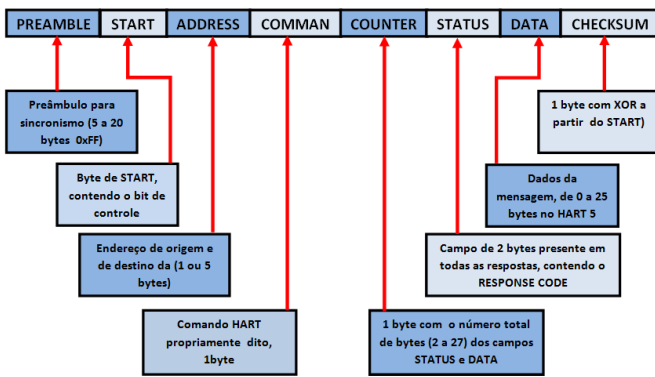


Figura 6. Divisão do pacote HART. [6]

1. O preâmbulo (PREAMBLE) possui entre 5 e 20 bytes em hexadecimal (todos 1's). Essa sequência é necessária no início de cada mensagem para sincronizar o modem receptor. O número de bytes do preâmbulo pode variar em função do tipo de equipamento e da instalação, não sendo menor que 5 nem maior que 20 bytes.
2. O caractere de início (START) indica o tipo de mensagem: mestre para escravo, escravo para mestre, ou mensagem em "burst" do escravo; e também o formato do endereço: quadro curto ou quadro longo.
3. O campo endereçamento (ADDRESS) inclui o endereço do mestre (um único bit: 1 para mestre primário, 0 para mestre secundário) e do escravo. No formato de quadro curto, o endereço do escravo tem 4 bits contendo o "polling address" (0 a 15). No formato de quadro longo, o tamanho é de 38 bits contendo o "identificador único" para um instrumento em particular (um bit é também usado para indicar se o escravo está em modo *burst*).
4. O byte comando (COMMAND) contém o tipo de comando HART associado à mensagem. Os comandos universais estão na faixa de 0 a 30; comandos práticos estão na faixa de 32 a 126; comandos específicos do instrumento estão na faixa de 128 a 253.
5. O byte contador (COUNTER) de byte contém o número de bytes dos campos status e dado. O receptor usa-o para saber quando a mensagem está completa, uma vez que não existe o caractere especial "fim de mensagem".

6. O campo STATUS (também conhecido como "código de resposta") tem dois bytes presentes somente na mensagem de resposta de um escravo. Ele contém informações sobre erros de comunicação no recebimento de mensagem, o status do comando recebido e o status do instrumento.

7. O campo dados (DATA) pode estar presente ou não, dependendo do comando particular. O comprimento máximo recomendado é de 25 bytes, para manter uma duração global de mensagem razoável.

8. O *Checksum* ou soma de verificação é uma parte do pacote utilizada para verificar a integridade de dados transmitidos, contém um "ou exclusivo" ou "paridade longitudinal" de todos os bytes anteriores (do caractere de início "start" em diante). Assim que é feita a recepção do pacote pelo mestre ou escravo, dá-se início a checagem de paridade, antes de ocorrer a transmissão. [6]

Isto é feito calculando a soma de verificação dos dados antes do envio ou do armazenamento deles, e recalculá-los ao recebê-los ou recuperá-los do armazenamento. Se o valor obtido for o mesmo de quando enviado, as informações não sofreram alterações, caso contrário, a mensagem não mais será validada e não será enviada nenhuma resposta ao mestre que ainda tentará retransmitir por pelo menos três vezes a mesma mensagem. Ocorre assim o chamado, excesso do intervalo de tempo limite (timeout) para comunicação, causando o aborto e a ocorrência de erro. [6]

Estes tipos mais simples de soma acabam sendo mais vulneráveis a erros, por não detectarem outras formas de falha, como, por exemplo, a troca de ordem dos bits transmitidos. [6]

#### E. Camada OSI

A camada física do HART (1) se baseia no padrão Bell 202, utilizando modulação por chaveamento de frequência (FSK) para se comunicar a uma taxa de 1200bps. As frequências de sinal representando os valores de bit 0 e 1 são, respectivamente, 2200Hz e 1200Hz. Este sinal é sobreposto com baixa potência sobre o sinal de medição analógico de 4~20mA, sem causar nenhuma interferência com o sinal analógico.

A camada de enlace de dados (2) divide a informação a ser transmitida em pacotes, adiciona mecanicamente e eletricamente (tipo de cabo, distâncias, aterramento) e define de que forma o sinal digital será codificado.

A camada de aplicação (7) define os comandos, respostas, tipos de dados e os relatórios de status aceitos pelo protocolo. [3] [5]

As demais camadas não são utilizadas. A tabela II ilustra a comparação entre o HART e o modelo OSI tradicional.

Tabela II. Modelo OSI como referência para HART. [3] [5]

	Modelo OSI	Modelo Hart
7.	Aplicação	Comandos Hart
6.	Apresentação	
5.	Sessão	
4.	Transporte	

3.	Rede	
2.	Enlace de dados	Regras de protocolo Hart
1.	Física	Bell 202

### III. VANTAGENS DO PROTOCOLO HART

As principais vantagens no uso do protocolo HART são: <sup>[4]</sup>

- Possibilita o uso de instrumentos inteligentes (*smart*) em cima dos instrumentos e cabos 4 a 20mA tradicionais.
- Transmissão simultânea de dados digitais e analógicos.
- Cabos normalmente usados em instrumentação podem ser mantidos.
- Facilidade de implementação para maximizar a eficácia de custos iniciais.
- É um protocolo antigo, porém seguro, com alta robustez e imunidade a ruídos, que possui taxa de transmissão de 1200bps. É largamente utilizado em vários segmentos da indústria pode chegar a uma distância máxima de 3000m com cabo blindado. <sup>[4]</sup>

### IV. APLICAÇÃO PRÁTICA

O objetivo da parte prática do artigo é mostrar as características da rede HART e, através de um experimento prático feito em laboratório, realizar as configurações remotas, realizar as métricas de tempo de varredura e validar o funcionamento utilizando dois modelos de transmissores de temperatura.

#### A. Sensor e Transmissor

O sensor PT 100 é uma termo resistência muito utilizada em processos industriais e laboratoriais, por suas condições de alta estabilidade, repetibilidade, resistência à contaminação, mínimo *drift* em relação ao tempo, menor influência de ruídos e altíssima precisão de leitura. É baseado no princípio de variação da resistência ôhmica em função da temperatura, ou seja, aumenta-se a resistência com o aumento da temperatura. Sua faixa de temperatura pode variar de -200 a 650°C, com erros muito pequenos. <sup>[7]</sup>

Foi utilizado dois PT 100 ambos de três fios que foram ligados um em cada transmissor de temperatura, sendo o terceiro fio utilizado para compensação, caso ocorra perda de sinal. <sup>[7]</sup>

A figura 7 apresenta o PT 100 de três fios.

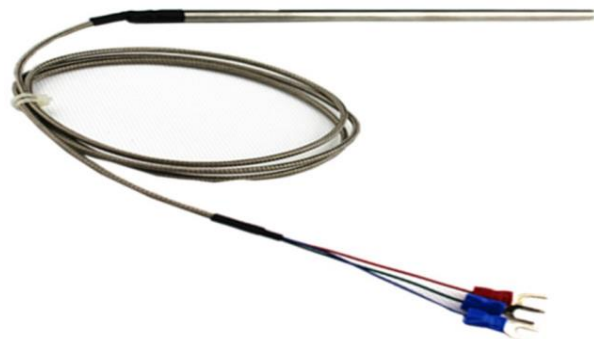


Figura 7. PT 100 de três fios. <sup>[7]</sup>

Um transmissor digital de temperatura é aquele que converte o sinal de entrada proveniente de termo resistências e termopares, em grandeza elétrica padronizada (geralmente, 4 a 20mA).

No projeto desenvolvido, os transmissores utilizados foram o NCSTT105 e o Rosemount® 644 compatíveis com a rede HART. Os transmissores são instrumentos próprios para serem usados em aplicações que envolvam temperatura. Possui indicador visual para monitorar algumas informações, como a temperatura real. Sua alimentação pode ser de 11,9Vdc a 42Vdc e sua saída entrega um sinal analógico de 4 a 20mA, variando de acordo com a resistência. Este sinal é enviado ao conversor A/D (Analógico/Digital), fazendo com que as respostas possam ser visualizadas através de um aplicativo computacional. A figura 8 ilustra um dos transmissores utilizados no projeto. <sup>[8]</sup>



Figura 8. transmissor de temperatura. <sup>[8]</sup>

#### B. Montagem e Teste

Toda a montagem e testes da rede HART, foram realizados no laboratório do Instituto Nacional de Telecomunicações INATEL.

Com uma fonte de 24Vdc alimentando o circuito, tem-se um *loop* de corrente analógica, que, de acordo com o valor medido de temperatura, através dos sensores PT 100 instalados, um em cada transmissor, faz com que os



transmissores entreguem em suas saídas uma variação de corrente entre 4 a 20mA proporcional ao valor de temperatura medido.

Com um conversor A/D (Analogico/Digital), ligado em série com o circuito, faz-se a medição e monitoração dos parâmetros via ferramenta computacional.

Após a montagem da rede HART, executa-se a ferramenta computacional HARTMPT (*HART Multi Produto Tool*), fazendo o reconhecimento de todos os transmissores que estão conectados à rede.

Ao selecionar o transmissor específico é possível alterar alguns parâmetros, tais como: a unidade de medida que será utilizada, que neste caso utilizou-se em °C (Graus Celsius), faixa de temperatura mínima e máxima e tipo de PT 100.

Na própria ferramenta determina-se o valor do limite mínimo e máximo de temperatura que o sensor irá medir, neste caso determinou-se o valor de 0 a 100°C. A figura 9 ilustra a imagem dos parâmetros a se determinar.

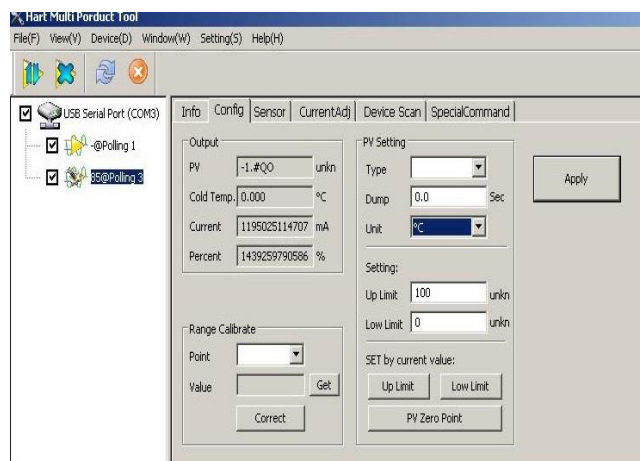


Figura 9. Parâmetros HARTMPT

Determinado todos os parâmetros, o aplicativo computacional HARTMPT tem a opção de se observar os valores de temperatura, corrente e a porcentagem referente a própria temperatura, facilitando ao operador o seu monitoramento. No próprio transmissor, o valor da temperatura medido é mostrado na tela.

Neste caso, o valor inicial medido pelo sensor e entregue ao transmissor foi de 33,17°C. Este mesmo valor de medida de temperatura exibido pelo transmissor pode ser monitorado na ferramenta computacional, juntamente com sua corrente que foi de 9,309mA e sua porcentagem de 33,17%.

Com todo o processo fazendo as medidas corretamente, varia-se a temperatura no sensor e seu valor é mostrado no transmissor e no aplicativo computacional. A figura 10 ilustra o valor medido.

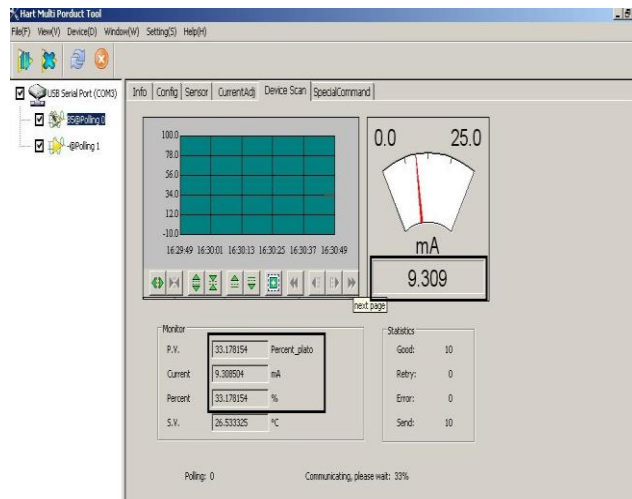


Figura 10. Valor de temperatura, corrente e porcentagem.

Com o osciloscópio, conectado a um determinado ponto da rede, foram realizadas as medidas dos dois transmissores de temperatura.

Foi medido o tempo de varredura, variando a temperatura. O tempo de varredura médio de um ciclo de comunicação foi de 1,03 segundos (somando o tempo da comunicação de 900ms com o tempo da pausa de 130ms). A figura 11 evidencia o valor medido.



Figura 11. Tempo de varredura.

## V. CONCLUSÃO

Após um melhor estudo da rede HART e testes práticos realizados em laboratório, pode-se perceber como esta rede é de grande importância para o sistema industrial. Entre outras características, pode-se citar a facilidade de trafegar dados sem afetar o sinal analógico, monitorar e diagnosticar equipamentos em campo e facilidade na instalação como sendo pontos diferenciais desta rede.

Com os ensaios práticos comprovou-se a eficiência da rede HART através de medições do sinal dos instrumentos e varredura da rede. É possível notar que o tempo de 1,03 segundos foi medido para dois instrumentos conectados ao barramento. Caso o número de instrumentos alocados no

barramento aumente, o tempo também irá aumentar consideravelmente. O sistema de varredura dos elementos da rede do protocolo HART opera com o método *Polling*, ou seja, cada elemento acessa o barramento quando for requisitado pelo mestre.

#### REFERÊNCIAS

- [1] LUGLI, Alexandre Baratella; SANTOS, Max Mauro Dias. ***Redes sem fio para automação industrial***. Livro. São Paulo/SP, Editora Erica, 2014, 136p.
- [2] Artigo on line. ***Como o HART Funciona***. Disponível em: [http://www.smar.com/PDFs/catalogues/HARTTUTCP.pdf&sa=U&ei=65M2VcqZiYnjsASQxYGgDg&ved=0CAoQFjAD&client=internal-uds-cse&usg=AFQjCNG3U7S1cyP\\_twFHCd-IVqFGkmpOogml](http://www.smar.com/PDFs/catalogues/HARTTUTCP.pdf&sa=U&ei=65M2VcqZiYnjsASQxYGgDg&ved=0CAoQFjAD&client=internal-uds-cse&usg=AFQjCNG3U7S1cyP_twFHCd-IVqFGkmpOogml)  
Acessado em Abril de 2015.
- [3] NOGUEIRA, Thiago Augusto. ***Redes de Comunicação para Sistemas de Automação Industrial***. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação. Ouro Preto/MG, UFOP, 2009, 83p.
- [4] Artigo on line. ***Benefícios do protocolo HART***. Disponível em: <http://www.smar.com/brasil/hart>  
Acessado em Abril de 2015.
- [5] FERREIRA, Anderson C.; LEAL Bruno L.; NEVES, Carlos F. O. C.; TRINDADE, Max R. P. ***Implementação de um controle de nível de escala industrial utilizando protocolo de comunicação HART***. Artigo. Belém/PA, IESAM, 8p.
- [6] CARVALHO, Francisco Manuel. ***Protocolos de transmissão em ambientes industriais***. Artigo. Fortaleza /CE, IFCE, 2009, 14p.
- [7] FIALHO, Arivelto Bustamante. ***Instrumentação industrial: conceitos, aplicações e análises***. Livro. 7ª ed. São Paulo/SP, Editora Erica, 2010, 280 p.
- [8] Transmissor de Temperatura NCS TT105. Disponível em: [www.providercontrols.com.br/Downloads/NCS-TT105-catalogo.pdf](http://www.providercontrols.com.br/Downloads/NCS-TT105-catalogo.pdf)  
Acessado em Maio de 2015.