

UTILIZAÇÃO DE CONVERSORES ANALÓGICO-DIGITAIS ENDEREÇÁVEIS PARA MEDIÇÕES DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

**José Helvecio Martins¹, Paulo Raimundo Pinto², Daniela de Carvalho Lopes³,
Paulo Marcos de Barros Monteiro⁴, José Eduardo Carvalho Monte²**

RESUMO

A utilização de dispositivos eletrônicos endereçáveis em sistemas de automação vem aumentando consideravelmente, assim como o desenvolvimento e a aplicação de sistemas automáticos, para o setor agrícola, têm sido bastante incentivados. Devido à complexidade destes sistemas e à necessidade de maior confiabilidade e simplicidade em suas estruturas, novas formas de transmissão de dados têm sido propostas e estudadas. Neste trabalho, instrumentos digitais para medições de temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do ar foram desenvolvidos com base em conversores analógico-digitais endereçáveis. A utilização dos dispositivos propostos possibilita a implantação de sistemas de monitoramento e controle com apenas três fios, conectados diretamente a um computador, responsável pelo gerenciamento da transmissão e pelo tratamento dos dados. Calibrações e validações preliminares foram realizadas com os instrumentos digitais endereçáveis desenvolvidos, resultando em medidas com exatidão e precisão elevadas.

Palavras-chave: dispositivos eletrônicos endereçáveis, temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar, velocidade ar.

USING ADDRESSABLE ANALOGICAL TO DIGITAL CONVERTERS FOR MEASURING ENVIRONMENTAL VARIABLES

ABSTRACT

The use of addressable electronic devices in automation systems has been increased considerably, as the development and the application of automatic systems in agriculture have been quite motivated. Due the complexity of these systems and the need for more reliability and simplicity in its structures, new data transmissions ways have been proposed and studied. In this work, digital instruments for measuring air temperature, air relative humidity, solar radiation and air speed based on addressable analogical to digital converters were developed. Using the proposed devices is possible to implement monitoring and control systems with only three cables, directly connect to a computer, responsible to manage and to manipulate the data. Preliminary calibrations and validations were accomplished using the developed addressable digital instruments resulting in measures with high accuracy and precision.

Keywords: addressable electronic dispositives, air temperature, air relative humidity, solar radiation, air speed.

Protocolo 870 de 20/07/2006

¹ Professor Titular (Ph.D), Engenheiro Agrícola. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola (UFV/DEA). Av. PH Rolfs, s/n, Campus Universitário, CEP: 36570-000, Viçosa, MG. Tel: 3899-1896. E-mail: jhmartins@ufv.br

² Engenheiro eletricitista (MS), doutorando em Engenharia Agrícola. Centro Federal de Educação Tecnológica de Ouro Preto (CEFET-OP), R. Pandiá Calógenas, s/n, CEP:35400-000, Ouro Preto, MG. E-mail: prp@cefetop.edu.br, zd1@cefetop.edu.br

³ Cientista da Computação (DS), bolsista pós-doutor da FAPEMIG. UFRV/DEA. Tel. 3899-1930. E-mail: danielaclopes@gmail.com

⁴ Engenheiro eletricitista (DS). Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Engenharia de Automação e Controle e de Técnicas Fundamentais (UFOP/DECAT). Escola de Minas, Campus Universitário, Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, MG, CEP: 35400-000. E-mail: paulo@em.ufop.br

INTRODUÇÃO

Cada vez mais a agricultura brasileira depende da automação, seja pela crescente complexidade dos processos ou pelo fato das novas tecnologias auxiliarem na sustentabilidade dos processos produtivos e no desenvolvimento econômico e social. Um dos maiores desafios é a transformação dos conhecimentos adquiridos em tecnologias e produtos eficazes ao desenvolvimento do sistema produtivo agrícola pois, a aplicação da automação é ampla e pode contribuir para o desenvolvimento em várias áreas, principalmente em sistemas de produção de produtos tropicais e também em temas que envolvam a agricultura de precisão, zootecnia de precisão e agricultura familiar tecnificada (Cruvine & Neto, 1999).

Particularmente, o monitoramento das variáveis climáticas é de fundamental importância para o correto manejo da maioria dos processos agrícolas, tornando-se evidente a necessidade de equipamentos eficientes e de baixo custo, capazes de medir e transmitir os dados coletados para computadores, telefones celulares ou outros dispositivos de armazenamento de dados.

Dentre as tecnologias disponíveis, os dispositivos eletrônicos endereçáveis têm se mostrado uma opção interessante para o monitoramento e o controle de processos agrícolas pois, possibilitam a aquisição, a transmissão e a manipulação dos dados, utilizando-se estruturas menos complexas e com menor custo, além de resultar em dados confiáveis (Steidle Neto, 2003).

A tecnologia 1-wireTM, desenvolvida pela Dallas Semiconductor, é caracterizada por uma rede de transmissão de dados que se baseia em dispositivos eletrônicos endereçáveis e tem se destacado, quando comparada a outras tecnologias semelhantes, devido à sua versatilidade, às facilidades em sua implantação, à ampla documentação disponível gratuitamente e ao seu protocolo de comunicação simples. As redes 1-wireTM são compostas por um computador ou um microcontrolador (atuando como o mestre do sistema e sendo responsável pelo gerenciamento de toda a transmissão de dados), e dispositivos remotos, como sensores, adaptadores, chaves eletrônicas e outros, atuando como escravos e conectados à rede por dois ou três fios (Lopes, 2006).

Assim, o objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de instrumentos digitais, baseados na tecnologia 1-wireTM, para medição da temperatura do ar, da umidade relativa do ar, da radiação solar e da velocidade do ar, utilizando-se conversores analógico-digitais endereçáveis.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Instrumentação do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa e nos Laboratórios de Instrumentação Eletrônica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Ouro Preto (CEFET - OP).

Instrumentos digitais foram desenvolvidos para medições de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar e radiação solar com base em conversores analógico-digitais endereçáveis localizados no dispositivo DS2438, da série 1-wireTM. Este dispositivo foi projetado para o monitoramento de carga em baterias, e por isso, contém conversores analógico-digitais para temperatura e tensão. O DS2438 possui ainda 40 bytes de memória não volátil, que são utilizados para armazenagem de informações sobre a calibração e o endereço do dispositivo, além de um sensor de temperatura capaz de fornecer valores digitais de 13 bits para cada dado medido. Isso corresponde a um tempo de conversão da temperatura na forma digital de, aproximadamente, 10 ms e uma faixa de medição de temperatura variando de $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$, com resolução de $0,03125\text{ }^{\circ}\text{C}$ para temperaturas compreendidas entre -40 e $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Dallas Semiconductor, 2003).

O conversor analógico-digital principal do DS2438 executa a conversão de 10 bits de uma entrada de 0 a 10 V, ou a conversão de 9 bits de um sinal de tensão de 0 a +5 V com um multiplexador interno que permite ler a tensão aplicada ao seu pino da fonte de potência. O outro CAD tem o objetivo de medir a tensão desenvolvida por grandes correntes de bateria que circulam através de um resistor externo de $0,05\ \Omega$ com uma precisão assinalada de 10 bits de $\pm 250\text{ mV}$ na leitura máxima da escala. (Awtrey, 2002).

Cada dispositivo DS2438 possui um código de identificação próprio, gravado a laser no processo de fabricação em um chip de memória ROM. Esse código de identificação é constituído por 64 bits seqüenciais, sendo que

os 8 primeiros bits representam a família à qual o dispositivo pertence (sensor, adaptador, chave eletrônica, etc), os 48 bits seguintes correspondem ao número serial único e individual que endereça o dispositivo e os últimos 8 bits se referem a um código de verificação de redundância cíclica relacionado

aos 56 bits iniciais, indicando a existência ou não de erros (Monteiro, 2001).

Os circuitos integrados DS2438 estão disponíveis no mercado com encapsulamento SOIC, de 8 terminais, conforme mostrado na Figura 1.

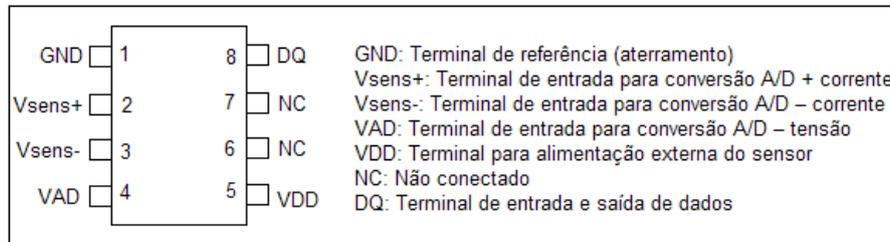


Figura 1 – Esquema do circuito integrado DS2438

Utilizando-se um único DS2438 foi possível desenvolver um instrumento digital endereçável conjugado para medição da temperatura e da umidade relativa do ar. A medição da temperatura ar foi realizada pelo sensor de temperatura interno ao DS2438 e a medição da umidade relativa do ar foi realizada conectando-se um sensor de umidade relativa a um dos conversores analógico-digitais do DS2438. O sensor de umidade relativa empregado foi o HIH3610 que opera na faixa entre 4 e 5,8 VDC (calibrado em 5 VDC), com tensão de saída variando de 0,8 a 3,9 VDC, de acordo com a variação de umidade relativa (0 a 100%, sem condensação). A exatidão deste sensor é de $\pm 2\%$ e a sua resolução é de 0,04% para valores de umidade relativa na faixa de 5 a 95% e temperaturas na faixa de 0 a 50°C. Para a temperatura de 25 °C e baixa velocidade do ar, o tempo de resposta do HIH3610 é de 15 s. A corrente elétrica de operação deste dispositivo é igual a 200 μA , sendo possível utilizá-lo com segurança em redes 1-Wire™ (Neurologic Research, 2003; Honeywell, 2003). Como o sensor HIH3610 é fotossensível, tomou-se o cuidado de protegê-lo contra a luz quando estava em operação.

Na Figura 2 encontra-se o esquema do circuito utilizado para a realização das medidas de temperatura e umidade relativa do ar ambiente. Neste circuito um capacitor de 0,1 μF (C1) e um diodo (D2) formaram um retificador de meia onda que alimenta o sensor de umidade e o dispositivo DS2438, caso a alimentação

parasita for utilizada. Outro diodo (D1) foi localizado entre a linha de dados e o referencial, protegendo o circuito contra oscilações no sinal que ultrapassem os limites mínimos e máximos de tensão. Um resistor de 100 K Ω (R1) e um capacitor de 0,01 μF (C1) constituíram um filtro responsável por proteger a transmissão da tensão de saída do sensor de umidade ao DS2438. Essa tensão é proporcional à tensão de alimentação, sendo que a conversão dos dados medidos para valores de umidade relativa foi realizada por meio da equação 01 (Awtrey, 2000).

$$UR = \frac{(V_s / V_a) - (0,16 / 0,0062)}{1,0546 - 0,00216 T_s} \quad (1)$$

em que, UR é a umidade relativa do ar (%), V_s é a tensão de saída do HIH3610 (V), V_a é a tensão de alimentação (V) e T_s é a temperatura medida pelo DS2438 (°C).

Um circuito bastante parecido com o desenvolvido para medição de temperatura e umidade relativa do ar foi utilizado para medição da velocidade do ar. A diferença entre os dois circuitos está na conexão de um transdutor de velocidade (tacômetro) a um dos conversores analógico-digitais no lugar do sensor HIH3610, como mostra a Figura 3. Assim, quando o ar passa pelas hélices do tacômetro, as rotações em seu rotor são convertidas em um sinal de tensão elétrica proporcional à velocidade do ar.

$$v_{ar} = 9,4403 / (1 + \exp(-(V_t - 1,573) / 0,5556)) \quad (2)$$

em que v_{ar} é a velocidade do ar (m/s) e V_t é a tensão na saída do tacômetro (V).

Também no instrumento digital endereçável para medição de radiação solar, o circuito básico contendo um DS2438 foi utilizado. Neste caso, no entanto, uma célula solar foi conectada à entrada de corrente de um dos conversores analógico-digitais do DS2438, como mostra a Figura 5. Os resistores R1 e R2

(ambos de 10 kΩ) constituem um divisor de tensão, necessário para limitar o valor típico de tensão de 450 mV, gerado pela célula solar, ao valor máximo absoluto de 300 mV, permitido ao DS2438. Os valores dos resistores para o divisor de tensão foram escolhidos de forma a evitar carregar indevidamente a célula com sua capacidade máxima. Uma vantagem desse procedimento é que várias células podem ser montadas para facear diferentes setores do céu, para cobertura de horizonte-a-horizonte.

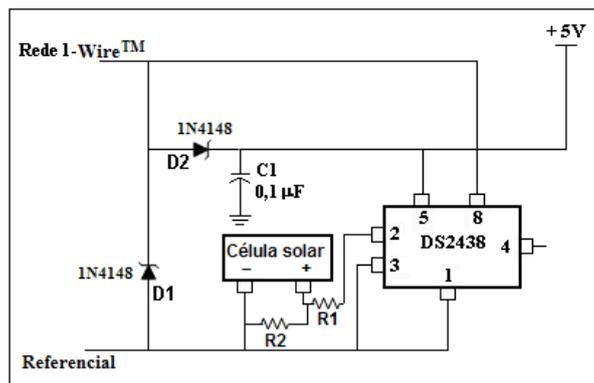


Figura 5 – Circuito utilizado para medir a radiação solar

Nos testes realizados com o instrumento digital endereçável para medição da radiação solar utilizou-se, como instrumento padrão, um piranômetro, fabricado pela Kipp&Zonen, que se baseia em uma célula fotovoltaica de silício monocristalino para coletar medidas solari-

métricas. As tensões geradas em função da radiação solar no coletor fotovoltaico do instrumento digital endereçável foram relacionadas aos valores de radiação solar obtidos pelo instrumento padrão, gerando o gráfico mostrado na Figura 6 e a Equação 3.

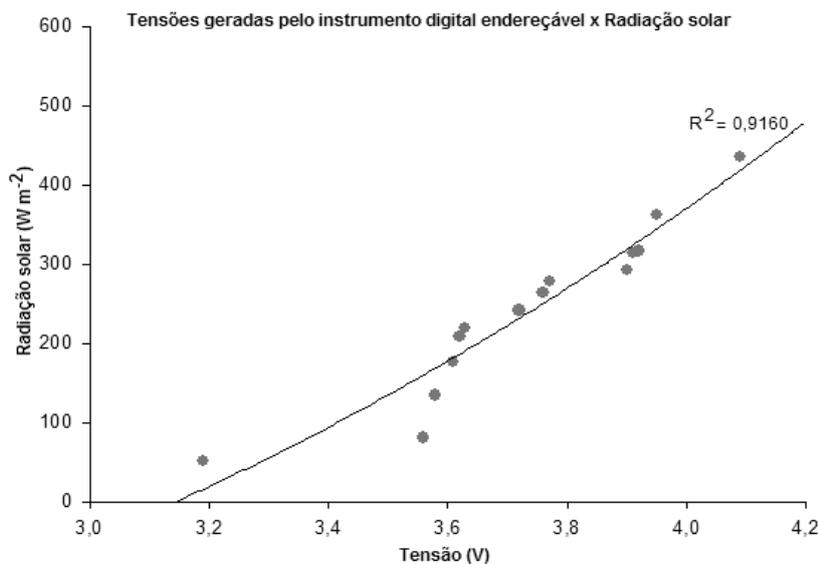


Figura 6 – Relação entre as tensões geradas pelo instrumento digital endereçável e os valores de radiação solar coletados pelo piranômetro padrão

$$R = 108,27 V_{\text{sol}}^2 - 340,59 V_{\text{sol}} \quad (3)$$

em que R é a radiação solar (W m^{-2}) e V_{sol} é a tensão gerada na célula solar (V).

Os instrumentos digitais endereçáveis desenvolvidos neste trabalho podem ser conectados à rede 1-wireTM utilizando-se dois ou três fios, dependendo do tipo de alimentação do sistema. Na alimentação parasita a fonte de energia responsável por alimentar os dispositivos escravos é a carga armazenada em um capacitor, existente no circuito de alimentação parasita, localizado nos DS2438. Ou seja, neste tipo de alimentação os instrumentos digitais endereçáveis são energizados pela própria linha de transmissão de dados, sendo necessários apenas um condutor de aterramento e outro para a transferência de informações. Mas, problemas de interrupção na transmissão de dados podem ocorrer em redes 1-WireTM com extensos comprimentos, com muitos dispositivos escravos conectados ou quando a corrente fornecida pelo mestre não for suficiente para manter a tensão de operação dos escravos. Para evitar este tipo de problema recomenda-se a utilização da alimentação externa. Neste tipo de alimentação, os dispositivos escravos obtêm energia para operar a partir de uma fonte de alimentação externa regulada de 5 Vcc que pode ser posicionada de maneira remota em relação ao mestre e mais próxima dos escravos. Devido ao uso da fonte de alimentação externa, este tipo de alimentação exige um condutor específico para alimentar os dispositivos, um condutor para transferência de dados e

outro para o aterramento (Monteiro, 2001; Steidle Neto, 2003).

Um programa computacional também foi desenvolvido para gerenciar a transmissão dos dados e armazenar os dados coletados pelos instrumentos digitais endereçáveis. Este programa foi escrito em linguagem Java, com base em sub-rotinas disponibilizadas na Internet pela Dallas Semiconductor para acesso ao endereço dos DS2438 e para a transferência dos dados coletados. A linguagem de programação Java foi escolhida em função de sua versatilidade, que possibilita a aplicação do programa desenvolvido em diferentes sistemas operacionais, assim como a futura adaptação do programa a sistemas de computação móvel, como o envio dos dados pela Internet, por redes internas ou para celulares.

Um adaptador universal DS9097U-009 da série 1-wireTM foi empregado para conectar os instrumentos digitais endereçáveis desenvolvidos ao computador contendo o programa computacional de gerenciamento da transmissão de dados. Este conector apresenta uma entrada DB-9 para conexão na porta serial do computador e uma entrada RJ-11 para os condutores da rede 1-wireTM.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medidas realizadas pelos instrumentos digitais endereçáveis desenvolvidos foram comparadas aos dados coletados por instrumentos padrão, resultando em um grau de concordância satisfatório, como mostram as Figuras 7, 8, 9 e 10.

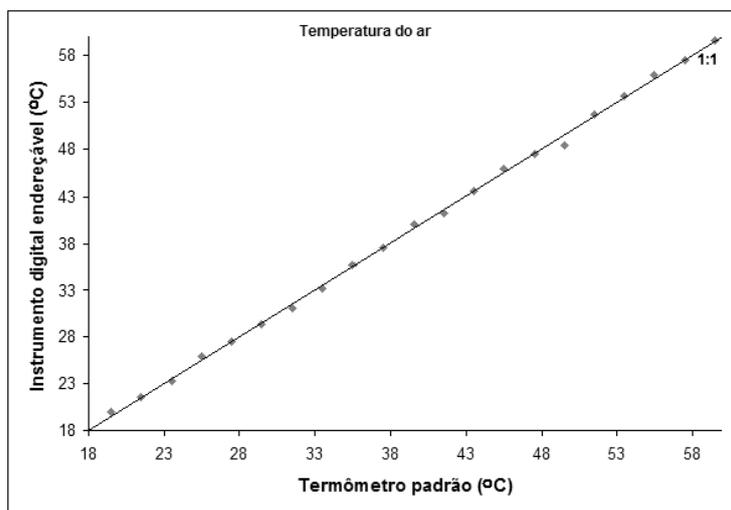


Figura 5 – Comparação entre as temperaturas do ar medidas pelo instrumento digital endereçável desenvolvido e um termômetro padrão

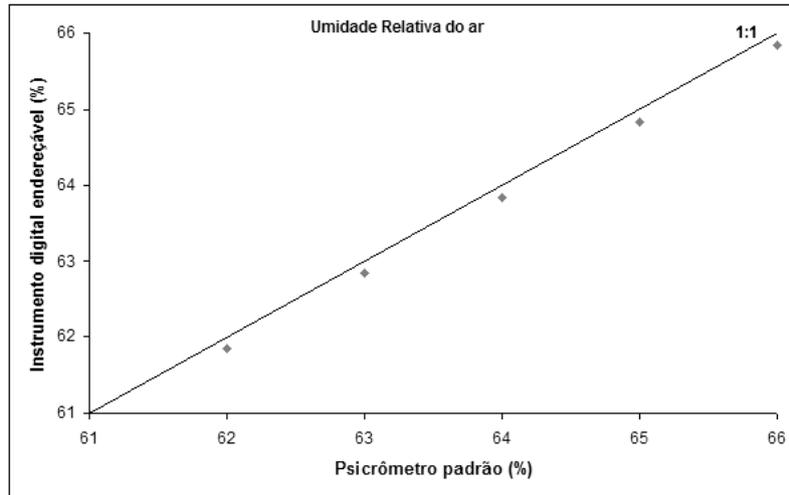


Figura 6 – Comparação entre as umidades relativas do ar medidas pelo instrumento digital endereçável desenvolvido e um psicrômetro padrão

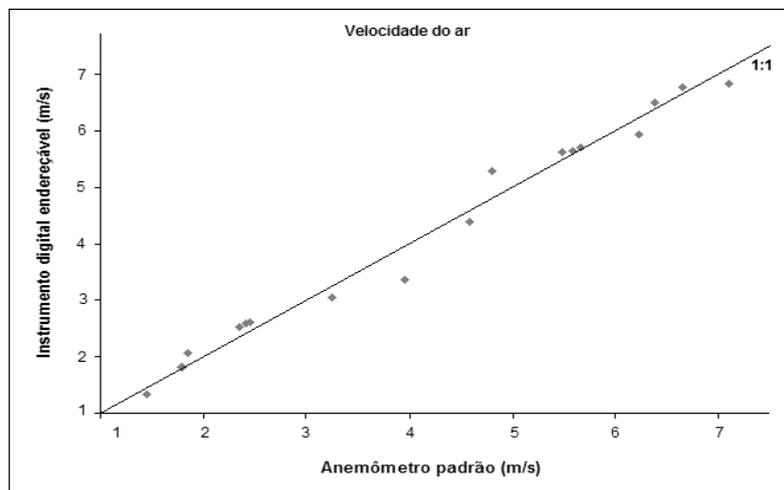


Figura 7 – Comparação entre as velocidades do ar medidas pelo instrumento digital endereçável desenvolvido e um anemômetro padrão

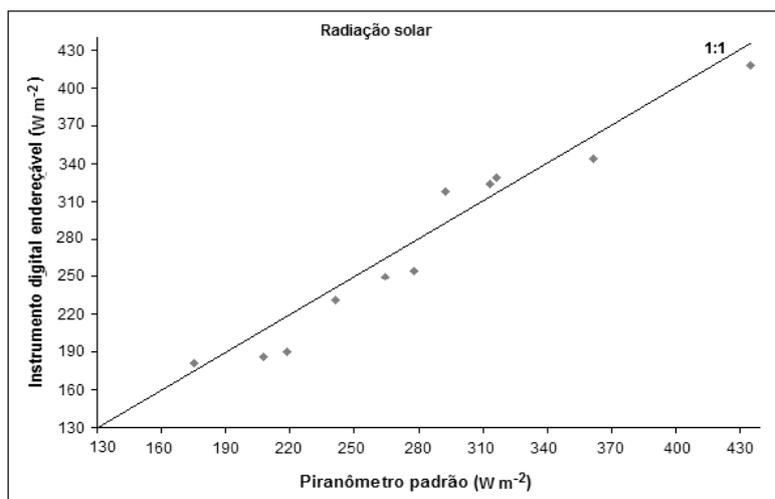


Figura 8 – Comparação entre as radiações solares medidas pelo instrumento digital endereçável desenvolvido e um piranômetro padrão

Ressalta-se a necessidade de trabalhos futuros no sentido de ampliar as faixas de medição dos instrumentos digitais endereçáveis para medição de velocidade do ar e radiação solar, adaptando-os ainda mais às aplicações agrícolas. Para isso, serão necessárias calibrações e validações mais criteriosas, visando gerar novas equações que relacionem as tensões geradas pelos circuitos com as variáveis ambientais medidas para os novos intervalos de medição.

Uma vantagem dos instrumentos digitais endereçáveis desenvolvidos é a padronização da maneira como os dados coletados são transmitidos. Tanto o mestre quanto os escravos são configurados como transceptores (transmissor-receptor), permitindo que os dados fluam, de maneira seqüencial, em ambas as direções, porém em apenas uma direção a cada vez (*half-duplex*). Essa característica contrasta com os métodos que incorporam uma variedade de circuitos de condicionamento de sinal, tais como amplificadores de instrumentação e conversores de tensão em frequência, cujas saídas são diferentes e freqüentemente requerem cabos específicos e fontes de alimentação para cada sensor. Também, o endereço de identificação único ou número serial de cada conversor analógico digital permite que vários instrumentos digitais endereçáveis sejam conectados a uma mesma rede 1-wireTM, facilitando a sua localização, além de reduzir os custos de instalação e manutenção do sistema resultante.

Utilizando-se outros dispositivos da série 1-wireTM, como sensores e contadores, é possível desenvolver outros instrumentos digitais endereçáveis, como pluviômetros, psicrômetros e sensores para direção do vento.

CONCLUSÃO

Os instrumentos digitais endereçáveis desenvolvidos podem ser empregados para medir a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, a velocidade do ar e a radiação solar com excelente precisão e baixo tempo de resposta.

Sistemas que utilizem estes dispositivos resultaram em estrutura física menos complexa

e com menor custo operacional, já que o número de condutores utilizados na conexão dos instrumentos será menor e um único programa computacional será capaz de gerenciar a transmissão e manipulação dos dados coletados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Awtrey, D. **1-Wire Humidity Sensor**. Sensors Magazine. Disponível em: <http://www.sensorsmag.com>. Acesso em: Agosto de 2000.
- Awtrey, D. **1-Wire Addressable Digital Instruments for Environmental Monitoring**. Sensors Magazine. Disponível em: <http://www.sensorsmag.com>. Acesso em: Junho de 2002.
- Cruvine, P. E.; Neto, L. M. **Subsídios para o desenvolvimento do agronegócio brasileiro: o programa automação agropecuária, visão e estratégias**. Comunicado técnico, EMPRAPA, n.32, p.1-4, 1999.
- Dallas Semiconductor. **DS2438: smart battery monitor**. Disponível em: <http://www.maxim-ic.com>. Acesso em: Janeiro de 2003.
- Honeywell. **Interactive Catalog Replaces Catalog Pages**. Disponível em: <http://phanderson.com/3605.pdf>. Acesso em: Janeiro de 2003.
- Lopes, D.C. **Simulação e controle em tempo real para sistemas de aeração de grãos**. Viçosa, UFV, 2006, 140 p. (Tese de Doutorado).
- Monteiro, P.M.B. **Tecnologia 1-wireTM aplicada ao controle em tempo real de sistemas de aeração de grãos**. Viçosa, UFV, 2002. 135p. (Tese de Doutorado).
- Neurologic Research. **Catálogo de produtos**. Disponível via URL. Disponível em: <http://www.neurologic-research.com/Data/sheets/1250bro2.pdf>. Acesso em: janeiro de 2003.
- Steidle Neto, A. J. **Avaliação do sistema 1-wireTM para aquisição de dados de temperatura em instalações agrícolas**. Viçosa, UFV, 2003, 110 p. (Dissertação de Mestrado).