

Redes 1-Wire™ aplicadas à aeração de grãos armazenados

Daniela de Carvalho Lopes^{1*}, José Helvecio Martins¹, Paulo Marcos de Barros Monteiro² e Daniel Marçal de Queiroz¹

¹Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Av. P.H. Rolfs, s/n, 36571-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

²Departamento de Automação, Controle e Técnicas Fundamentais, Universidade Federal de Ouro Preto, Campus do Morro do Cruzeiro, Escola de Minas, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: danielaclopes@gmail.com

RESUMO. Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de testar a utilização de redes 1-Wire™ no monitoramento e no controle de sistemas de aeração de grãos. A tecnologia 1-Wire™ é uma nova abordagem na área de sensoriamento remoto, consistindo em um barramento mestre controlado por um programa computacional e em dispositivos eletrônicos da série 1-Wire™, como sensores, adaptadores e chaves eletrônicas, conectados por dois ou três fios. O sistema estudado se manteve em funcionamento por aproximadamente 2200 horas e foi implantado em um silo metálico com 2,6 m de diâmetro e 2,0 m de altura, carregado com milho. Um programa computacional escrito em Java foi também desenvolvido, sendo responsável por gerenciar a transmissão de dados e executar a estratégia de controle. Os resultados mostraram que essa tecnologia é eficiente no monitoramento e controle de sistemas de aeração de grãos, sendo que o programa computacional e a estrutura da rede 1-Wire™ podem ser facilmente adaptados a diferentes aplicações agrícolas e a diferentes estruturas de armazenagem.

Palavras-chave: sistema de controle, monitoramento, aeração de grãos, dispositivos eletrônicos, redes 1-Wire™.

ABSTRACT. 1-Wire™ nets used in stored grain aeration control. The aim of this work was to test the use of 1-Wire™ nets for monitoring and controlling grain aeration systems. The 1-Wire™ technology is a new remote sensing approach that consists of a bus master with controlling software, two or three cables with associated connectors and 1-Wire™ devices, such as sensors and electronic switches. About 2200 hours of data were collected and the studied system consisted of a cylindrical steel bin with 2.6 m of diameter and cylinder height of 2.0 m, filled with corn. The aeration system operated under automatic control managed by software written in Java. Results showed that this is an efficient technology for monitoring and controlling grain aeration systems, as the software and the network can be easily reconfigured in an attempt to better adequate to different agricultural applications and to different storage structures.

Key words: control systems, monitoring, grain aeration, electronic dispositives, 1-Wire™ nets.

Introdução

A aeração é uma das possibilidades mais econômicas e simples do Gerenciamento Integrado de Pestes (GIP). Por esse motivo, e também por reduzir a utilização de produtos químicos no ambiente de armazenamento, a utilização dessa tecnologia tem aumentado bastante atualmente. Como é um método preventivo, o principal objetivo da aeração é a melhoria das condições de armazenamento. Ou seja, quando a aeração é aplicada, busca-se manter temperaturas e teores de umidade em níveis seguros e homogêneos na massa de grãos, visando reduzir o desenvolvimento de fungos, reduzir a atividade de insetos e prevenir a migração de umidade (Cloud e Morey, 1991).

De acordo com Casada *et al.* (2002), o desenvolvimento de estratégias de controle

confiáveis e a utilização de equipamentos mais apropriados no monitoramento dos grãos armazenados tornam a implantação de sistemas de aeração mais acessível aos produtores e mais eficaz, principalmente em regiões tropicais e subtropicais. Na maioria dos casos, termopares são instalados no interior dos silos para o monitoramento das temperaturas e, em pequenas estruturas de armazenagem ou em silos sem cabos, sondas são utilizadas para verificar as temperaturas em diferentes locais da massa de grãos. Nesses tipos de sistema o acionamento dos ventiladores freqüentemente é controlado por meio de termostatos e/ou umidostatos (Navarro e Noyes, 2001). Mas, estratégias de controle mais sofisticadas, em que sensores mais confiáveis e regularmente calibrados são associados a microprocessadores ou

computadores para processar as informações necessárias, também já estão sendo utilizadas (Maier e Montross, 1997). Todas essas possibilidades apresentam vantagens e desvantagens particulares, geralmente resultando em sistemas complexos e com custos elevados ou em sistemas não confiáveis.

A tecnologia 1-Wire™ é uma nova abordagem para o sensoriamento remoto que possibilita aquisições de dados confiáveis, podendo ser aplicada no monitoramento e no controle da aeração de grãos. Essa tecnologia consiste em uma rede (MicroLAN) formada por um computador ou por um micro controlador comunicando-se digitalmente com dispositivos eletrônicos endereçáveis por meio de dois ou três fios (Dallas Semiconductor, 2004). As redes 1-Wire™ têm sido empregadas nas mais variadas aplicações, sempre apresentando bons resultados, simplicidade, versatilidade e baixos custos. Com os dispositivos da série 1-Wire™ é possível acionar equipamentos e medir temperatura, velocidade do vento, direção do vento, precipitação, umidade, pressão barométrica e radiação solar por meio de circuitos simples. Monteiro (2002) e Steidle Neto (2003) pesquisaram a utilização de sistemas 1-Wire™ no setor agrícola, confirmando a eficiência dessa tecnologia e ressaltando a necessidade de estudos mais abrangentes em áreas específicas da agricultura.

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de testar a utilização de redes 1-Wire™ no monitoramento de grãos armazenados e no controle de sistemas de aeração. Para isso uma rede 1-Wire™ foi associada a um sistema de aeração instalado em um silo metálico com 2,6 m de diâmetro e 2,0 m de altura, carregado com milho. Um programa computacional escrito em Java foi também desenvolvido, sendo responsável por gerenciar a transmissão de dados e executar a estratégia de controle.

Considerações sobre a tecnologia 1-Wire™

Segundo Steidle Neto (2003), o sistema 1-Wire™, desenvolvido pela Dallas Semiconductor, é constituído por três elementos: um computador (mestre) com um programa de controle e gerenciamento da transmissão da dados que segue um protocolo específico de comunicação, dois ou três condutores (meio físico de comunicação) e dispositivos remotos da série 1-Wire™ (escravos).

As principais vantagens dessa rede de transmissão de dados são a sua flexibilidade, o seu baixo custo operacional e a ampla documentação disponível. Mas, para instalar uma rede 1-Wire™ é necessário conhecer bem a tecnologia. Também, por não ser

ainda muito difundida no Brasil, existem poucos revendedores dos dispositivos no país, tornando necessária, na maioria das vezes, a sua importação.

Todos os dispositivos da série 1-Wire™ possuem um código de identificação único, gravado a laser no processo de fabricação, em um *chip* de memória ROM (*Read Only Memory*) existente no interior de cada dispositivo (Monteiro, 2001). Estes códigos de identificação podem ser obtidos por meio do programa de domínio público WINDIAG, disponibilizado pela Dallas Semiconductor via Internet, ou por meio de comandos específicos inseridos no programa computacional desenvolvido para gerenciar a transmissão de dados.

O protocolo de comunicação do sistema 1-Wire™ utiliza níveis lógicos convencionais CMOS/TTL (*Complementary Metal Oxide Silicon / Transistor Transistor Logic*), no qual o nível lógico zero é representado por uma tensão máxima de 0,8 V e o nível lógico um por uma tensão mínima de 2,2 V (Dallas Semiconductor, 2004). Tanto o mestre quanto os escravos são configurados como transceptores (transmissores-receptores) permitindo que os dados fluam de maneira seqüencial em ambas as direções, porém em apenas uma direção a cada vez (*half-duplex*).

Na transmissão de dados do sistema 1-Wire™, os pulsos digitais que compõem o protocolo de comunicação, transmitidos na forma binária, são caracterizados por intervalos de tempo distintos, garantindo a integridade dos dados transmitidos. Essa transmissão sincronizada de dados é possível devido à existência de circuitos temporizadores internos aos dispositivos 1-Wire™ (Dallas Semiconductor, 2004).

Por definição, redes baseadas no sistema 1-Wire™ utilizam alimentação parasita, possuindo um único condutor no qual são conectados todos os dispositivos da série 1-Wire™ e um condutor de referência ou aterramento que, por convenção, não é considerado. Mas, em algumas situações, torna-se necessário utilizar a alimentação externa. Nestes casos, um condutor adicional é empregado para fornecer energia aos dispositivos escravos.

Na alimentação parasita, a fonte de energia responsável por alimentar os escravos durante os intervalos de tempo em que a linha de dados estiver em nível lógico baixo é a carga armazenada em um capacitor, existente no circuito de alimentação parasita, localizado nos escravos. Neste tipo de alimentação, sempre que a linha de dados é levada para o nível lógico alto pelo resistor de polarização comandado pelo mestre, um diodo retificador de meia onda é polarizado diretamente, carregando um

capacitor de 800 pF, ambos existentes no interior de cada escravo 1-Wire™. Quando a linha de dados cai a um nível de tensão inferior à do capacitor, o diodo retificador de meia onda é inversamente polarizado, isolando a carga no capacitor e alimentando os dispositivos 1-Wire™ (Dallas Semiconductor, 2004). Segundo Steidle Neto (2003), a quantidade de carga consumida durante estes intervalos de tempo é proporcional ao tempo em que a linha de dados permanece em baixa. O capacitor é recarregado quando a linha de dados retorna ao nível lógico um, no instante em que a tensão atinge o limiar de 2,8 V, capaz de polarizar diretamente o diodo retificador de meia onda.

Problemas de interrupção na transmissão de dados podem ocorrer em redes 1-Wire™ 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. Esse problema pode ser agravado quando uma longa seqüência de bits zero é gerada pelo mestre, fazendo com que a linha de dados permaneça por um longo período de tempo em nível lógico zero, não sendo possível recarregar os escravos. À medida que a tensão de operação interna dos escravos diminui sua capacidade em responder ao mestre também se torna reduzida. Assim, quando a tensão de operação interna dos escravos atinge um nível crítico, a comunicação na rede 1-Wire™ é interrompida (Steidle Neto, 2003). Para evitar este tipo de problema recomenda-se a utilização da alimentação externa. Nesse 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 (Monteiro, 2002). A desvantagem desse tipo de alimentação é a necessidade de um condutor específico para essa finalidade, além da fonte de alimentação externa.

Nas redes 1-Wire™, um único mestre pode ser conectado a múltiplos escravos em diversos tipos de topologias. Essa arquitetura confere ao sistema de aquisição de dados versatilidade, simplicidade e um controle rígido, porque nenhum dispositivo 1-Wire™ conectado à rede pode estabelecer comunicação se não houver uma requisição do mestre e nenhuma comunicação é permitida entre os escravos (Dallas Semiconductor, 2003b).

Teoricamente, nenhuma rede 1-Wire™ deve ter comprimento maior que 750 m. Para distâncias iguais ou maiores que este valor o protocolo de comunicação poderá falhar devido, principalmente,

ao tempo de resposta dos condutores. Na prática, outros fatores podem afetar o desempenho das redes 1-Wire™, limitando seu comprimento a valores próximos de 300 metros (Dallas Semiconductor, 2003b e Steidle Neto, 2003).

Os condutores que interligam o computador e os dispositivos 1-Wire™ são os principais responsáveis pelo decréscimo no desempenho do sistema. Para redes pequenas, com distâncias menores que 30 m e com número de dispositivos reduzido, a seleção dos condutores é bastante simples. Porém, para distâncias maiores, os efeitos relacionados às propriedades físicas e elétricas dos condutores se acentuam, gerando a necessidade de uma seleção mais criteriosa (Dallas Semiconductor, 2003a). De acordo com Steidle Neto (2003), dentre as características elétricas, a capacitância é a que causa os maiores problemas na transmissão de dados nos sistemas 1-Wire™. A capacitância nas redes 1-Wire™ aumenta com o acréscimo de dispositivos conectados ao barramento e com a capacitância dos condutores. Esta última propriedade pode variar de 30 pF m⁻¹ até 100 pF m⁻¹, crescendo com o aumento dos comprimentos dos condutores.

Assim, a implementação de redes 1-Wire™ confiáveis dependerá da seleção adequada do tipo de condutor, do tipo de dispositivos necessários à aplicação e da topologia empregada na sua implementação.

Material e métodos

Um sistema para o monitoramento de grãos armazenados e para o controle da aeração com base na tecnologia 1-Wire™ foi montado no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, utilizando-se um silo metálico com diâmetro igual a 2,6 m e altura igual a 2,0 m, carregado com milho.

A temperatura e a umidade relativa do ar ambiente foram medidas por meio de um circuito simples contendo resistores, capacitores, diodos e um sensor de umidade HIH3610 endereçado por um dispositivo DS2438 (Figura 1).

O DS2438 foi projetado para o monitoramento de carga em baterias, contendo conversores A/D (analógico-digital) para temperatura e tensão, necessários na obtenção da umidade relativa. O DS2438 possui também, 40 bytes de memória não volátil que são utilizados para armazenagem de informações sobre calibração e localização do sensor (Dallas Semiconductor, 2003c). Para a realização das medidas de umidade relativa apenas um conversor A/D foi conectado ao sensor HIH3610. O DS2438 também realiza medidas de temperatura com tempo

de conversão deste parâmetro na forma digital de, aproximadamente, 10 ms. A faixa de medição do dispositivo varia de -55°C a $+125^{\circ}\text{C}$ com resolução de $0,03125^{\circ}\text{C}$ e exatidão de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ para temperaturas compreendidas entre -40 e 85°C (Dallas Semiconductor, 2003c).

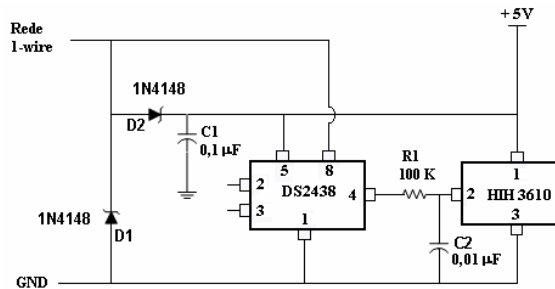


Figura 1. Esquema do circuito utilizado para medir a umidade relativa e a temperatura do ar externo ao silo.

O HIH3610 opera na faixa entre 4 e $5,8 V_{DC}$ (calibrado em $5 V_{DC}$), sendo que sua tensão de saída varia de 0,8 a $3,9 V_{DC}$, de acordo com a variação de umidade relativa (0 a 100%, sem condensação). A sua exatidão 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 baixas velocidades de vento, o tempo de resposta do HIH3610 é igual a, aproximadamente 15 s (Neurologic Research, 2003 e Honeywell, 2003). Como o sensor HIH3610 é fotossensível e o circuito foi localizado fora do silo e próximo ao ventilador, foi necessário protegê-lo em uma caixa com pequenas perfurações.

As medidas de temperatura no interior do silo foram realizadas utilizando-se 15 sensores de temperatura DS1820. Esses sensores foram acondicionados em uma capa protetora, reforçada com cabos de aço, própria para ser utilizada em estruturas de armazenamento com sistemas de termometria, pois têm capacidade para suportar esforços de tração provenientes do escoamento de grãos durante a carga e descarga. No plano horizontal, localizou-se um cabo no centro do silo e outros quatro cabos defasados entre si de 90° e distantes do cabo central de 0,9 m. Na direção vertical, os sensores foram dispostos nas alturas de 0,5, 1,0 e 1,5 m, a partir da base do silo. Outro sensor DS1820 foi instalado próximo à saída de ar do ventilador com o objetivo de medir a temperatura do ar de aeração.

Os tempos de conversão das temperaturas na forma digital, medidas pelos sensores DS1820, são

aproximadamente iguais a 750 ms. A faixa de medição destes sensores varia de -55°C a $+125^{\circ}\text{C}$ com resolução de $0,1^{\circ}\text{C}$ e exatidão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ para temperaturas compreendidas entre -10°C e 85°C (Dallas Semiconductor, 2003b).

Uma chave eletrônica da série 1-Wire™, identificada como DS2406, foi utilizada para acionar e desligar automaticamente o ventilador responsável por insuflar o ar dentro do silo (Figura 2).

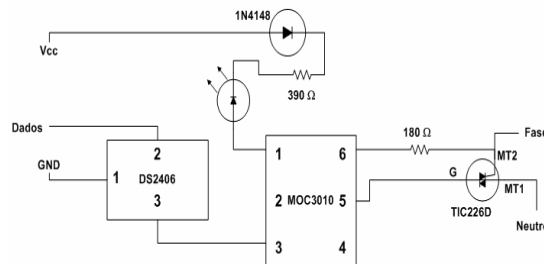


Figura 2. Esquema do circuito utilizado para acionar ou desligar automaticamente o ventilador responsável por insuflar o ar dentro do silo.

A comunicação digital entre o computador e os dispositivos da série 1-Wire™ foi realizada por meio da conexão de um adaptador DS9097 à porta serial RS232 do computador. Utilizou-se alimentação externa para que interrupções na comunicação fossem evitadas, pois foram observadas constantes oscilações na rede elétrica local.

O adaptador universal DS9097U-009 apresenta uma entrada DB-9 para conexão na porta serial do computador e uma entrada RJ-11 para os condutores da rede 1-Wire™. No interior deste dispositivo está localizado um circuito integrado DS2480B que é responsável por realizar a conversão dos dados da porta serial do computador para a rede 1-Wire™ (Dallas Semiconductor, 2004).

A Figura 3 apresenta um esquema da rede 1-Wire™ utilizada neste trabalho. Utilizou-se a topologia ramificada, sendo que o barramento principal foi conectado ao computador e a partir dele foram montadas uma ramificação de aproximadamente 1 metro contendo a chave eletrônica (DS2406), uma ramificação de aproximadamente 2 metros contendo o circuito para medição de umidade relativa (HIH3610 e DS2438), uma ramificação de aproximadamente 1,5 metros contendo o sensor de temperatura DS1820 localizado próximo à saída de ar do ventilador e mais cinco ramificações de aproximadamente 2,5 metros contendo, cada uma, três sensores de temperatura DS1820, localizadas na massa de grãos.

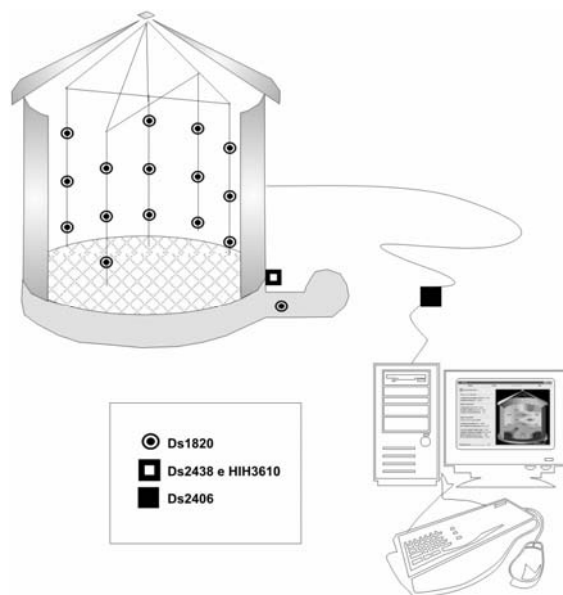


Figura 3. Esquema da rede 1-Wire™ utilizada no monitoramento e controle de um sistema de aeração para grãos armazenados no silo com 2,6 m de diâmetro e 2,0 m de altura.

O gerenciamento da aquisição de dados e as ações relacionadas à estratégia de controle foram realizados por meio de um programa computacional, chamado AERO, escrito em Java. Esse programa foi responsável, também, pelas estimativas de parâmetros importantes para a avaliação das condições do ambiente de armazenamento, como a umidade relativa de equilíbrio dos grãos, a umidade relativa do ar de aeração e o teor de umidade dos grãos. A estratégia de controle baseou-se nas recomendações e equações apresentadas por Martins *et al.* (2001), Navarro e Noyes (2001) e Zolnier (1994). Nesta estratégia, o processo de aeração é simulado com base nos dados reais obtidos por meio dos sensores, gerando uma estimativa sobre as condições do ecossistema dos grãos armazenados caso o ventilador seja ligado nos próximos 15 minutos. De acordo com esses resultados, com as condições do ar ambiente e com as condições atuais dos grãos o programa computacional liga ou desliga o ventilador por meio da chave eletrônica DS2406. A aquisição de dados foi realizada a cada 10 segundos e as médias das medidas foram calculadas em intervalos de 15 minutos, quando a estratégia de controle era executada.

Na implementação do protocolo de comunicação empregado na transmissão de dados realizada pela rede 1-Wire™ foram utilizados procedimentos específicos contidos em duas bibliotecas (OneWireAPI.jar e RxtxComn.jar) disponíveis gratuitamente na Internet. A biblioteca OneWireAPI.jar contém funções pré-

implementadas para a realização de todo o protocolo de comunicação das redes 1-Wire™, incluindo as etapas de inicialização, reconhecimento dos dispositivos conectados à rede, conversão e transmissão de dados. Por meio das funções pré-implementadas na biblioteca RxTxComn.jar foi possível realizar a comunicação na rede 1-Wire™, via porta serial, de forma simples e otimizada. Os procedimentos contidos nestas bibliotecas foram organizados de maneira que o endereço de cada dispositivo conectado ao sistema 1-Wire™ foi associado a uma posição específica de uma matriz responsável por armazenar os valores medidos. Assim, tanto na tela de visualização dos resultados quanto nos relatórios gerados foi possível identificar com precisão as condições em diferentes locais dentro do silo, no seu plenum e no seu exterior.

O sistema de aquisição de dados e controle da aeração esteve em funcionamento por, aproximadamente, 2200 horas entre junho e agosto de 2005. O clima da região de Viçosa, onde o experimento foi montado, é temperado quente-mesotérmico. De acordo com a metodologia de Köppen, a região é Cwa (Plugliesi, 2003). Assim, o verão apresenta-se quente e úmido com temperatura média no mês mais quente superior a 22°C e umidade relativa média superior a 80%. Já o inverno costuma ser mais seco e frio, com temperatura média próxima dos 15°C e umidade relativa média próxima dos 76%.

Resultados e discussão

A tecnologia 1-Wire™ mostrou-se bastante eficiente no monitoramento dos grãos armazenados e no acionamento do sistema de aeração. Os dados foram transmitidos sem interferências que pudessem comprometer as informações necessárias ao correto funcionamento do sistema de aeração. Não foram observadas longas interrupções nas transmissões, garantindo-se um monitoramento constante e confiável do ecossistema dos grãos armazenados e o correto acionamento do ventilador nos momentos indicados. Como os dados foram transmitidos diretamente ao computador por meio da porta serial, o custo operacional do sistema se mostrou menor quando comparado aos métodos tradicionais de monitoramento que necessitam de placas de aquisição de dados para a realização desta transferência de dados. Mesmo sendo importados, os dispositivos da série 1-Wire™ apresentaram custos semelhantes aos dos termopares e demais dispositivos empregados nos outros métodos de monitoramento para grãos armazenados.

Como todos os dispositivos utilizados na rede 1-Wire™ são conectados em um único condutor, o sistema de monitoramento e controle resultou em uma estrutura menos complexa e com manutenção simplificada. Também, as necessidades da aplicação puderam ser facilmente adaptadas ao programa computacional desenvolvido, já que os comandos utilizados atuaram individualmente nos dispositivos, facilitando a sua identificação e a manipulação dos dados coletados. Essas características contribuíram para o monitoramento e para o controle mais confiáveis do ecossistema dos grãos armazenados, pois foi possível a determinação exata das condições de temperatura e umidade relativa em pontos específicos do silo e do ambiente que o cercava. Assim, uma estratégia de controle mais elaborada pôde ser implantada e combinada ao monitoramento constante do ecossistema dos grãos armazenados utilizando-se um único programa computacional.

A eficiência do sistema estudado pode ser confirmada analisando-se o comportamento do ecossistema dos grãos armazenados no período em que a tecnologia 1-Wire™ foi empregada no seu monitoramento e controle. A Figura 4 apresenta um gráfico em que as temperaturas e as umidades relativas do ar ambiente, as umidades relativas de equilíbrio na massa de grãos, as temperaturas mínimas, médias e máximas na massa de grãos e os acionamentos do ventilador são relacionados. Com exceção da umidade relativa de equilíbrio, cujos valores foram estimados, todos os dados observados neste gráfico foram obtidos utilizando-se os sensores e a chave eletrônica da série 1-Wire™. Observando-se este gráfico é possível verificar que a uniformidade das temperaturas dentro do silo foi mantida dentro dos limites aceitáveis (3°C). Também, os grãos foram resfriados sempre que as condições do ar ambiente eram adequadas.

É possível verificar ainda que, em alguns momentos, mesmo sendo a temperatura do ar de aeração maior que as temperaturas observadas dentro do silo, o ventilador foi acionado devido à baixa umidade relativa do ar de aeração. Esse comportamento foi observado principalmente no início do funcionamento do sistema, quando as temperaturas dentro do silo estavam bastante altas e o gradiente de temperatura na massa de grãos era aproximadamente 6°C. Nesses momentos, as condições da primeira camada de grãos (com temperaturas mais baixas) e os baixos valores de umidade relativa do ar de aeração possibilitaram o resfriamento das camadas superiores de grãos e o conseqüente decréscimo do gradiente de temperatura dentro do silo. No período observado

na Figura 4, a temperatura média da massa de grãos caiu de 24,8 para 22,4°C, alcançando nos períodos mais frios o valor de 17,5°C. A temperatura máxima dentro silo caiu de 25,8 para 23,3°C, alcançando nos períodos mais frios o valor de 18,3°C. Finalmente, a temperatura mínima do produto caiu de 23,6 para 21,3°C, alcançando o valor de 16,2°C, nos períodos mais frios.

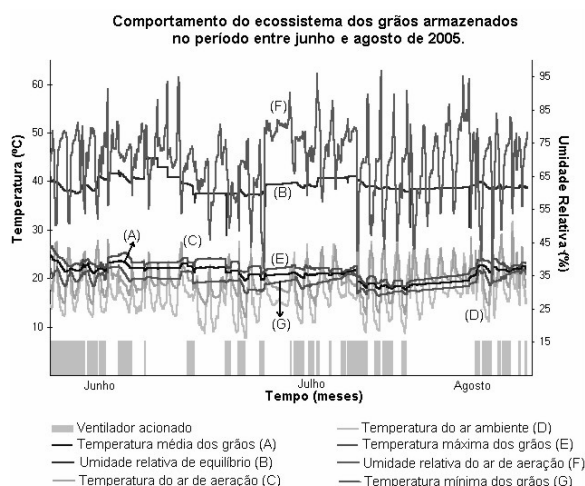


Figura 4. Comportamento do ecossistema dos grãos armazenados entre junho e agosto de 2005 (parte do período em que a rede 1-Wire™ foi empregada no monitoramento e no controle do sistema de aeração).

A Figura 5 apresenta um gráfico com os teores de umidade estimados para as três camadas de grãos monitoradas durante o período entre junho e agosto de 2005. Estas estimativas foram utilizadas na estratégia de controle para impedir o umedecimento ou a secagem excessiva dos grãos durante o processo de aeração. Observa-se que, inicialmente, os grãos apresentavam um gradiente de teor de umidade relativamente alto e que com a operação do sistema este gradiente diminuiu e os teores de umidade da massa de grãos se aproximaram mais do teor de umidade seguro para o armazenamento do milho.

A Figura 6 apresenta a tela principal do programa desenvolvido para o monitoramento e controle do sistema de aeração. Nessa tela é possível acompanhar em tempo real as medidas obtidas com o sistema 1-Wire™. Por meio de um gráfico de contorno associado à figura do silo, é possível saber quais as áreas da massa de grãos estão mais quentes, possibilitando um melhor acompanhamento do comportamento deste ecossistema. Também, os dados medidos e os dados simulados são gravados em planilhas eletrônicas possibilitando uma análise mais abrangente dos resultados obtidos.

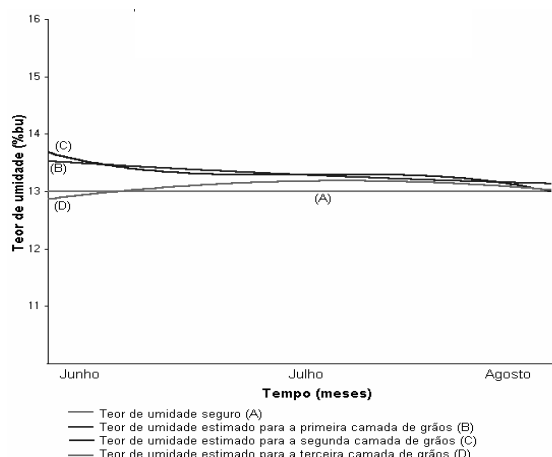


Figura 5. Comportamento do ecossistema dos grãos armazenados entre junho e agosto de 2005 (parte do período em que a rede 1-Wire™ foi empregada no monitoramento e no controle do sistema de aeração).

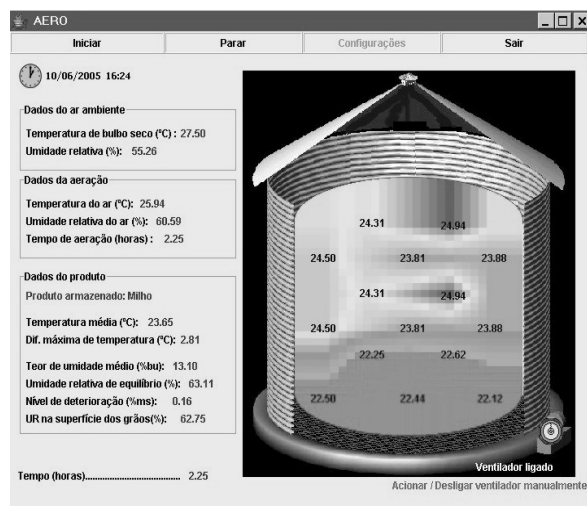


Figura 6. Tela principal do programa computacional desenvolvido para o gerenciamento da transmissão de dados utilizando-se o sistema 1-Wire™ e para execução da estratégia de controle em sistemas de aeração.

Conclusão

Com base nas condições experimentais, conclui-se que a tecnologia 1-Wire™ se mostrou eficiente no monitoramento dos grãos armazenados e no controle do sistema de aeração, com potencial para ser empregada em outros processos agrícolas e em diferentes estruturas de armazenamento.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro. Aos professores e amigos José Eduardo Carvalho do Monte e Paulo Raimundo Pinto pelas valiosas contribuições. Aos professores Adílio

Flauzino Lacerda Filho e Evandro de Castro Melo pelas importantes sugestões.

Referências

- CASADA, M.E. *et al.* Temperature monitoring and aeration strategies for stored wheat in the central plains. *ASAE Paper* n. 026116. St. Joseph: ASAE, 2002.
- CLOUD, H.A.; MOREY, R.V. Management of stored grain with aeration. University of Minnesota. Extension service. 1991. Disponível em: <<http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems>>. Acesso em: abr. 2000.
- DALLAS SEMICONDUCTOR. A 1-wire™ humidity sensor. 2003a. Disponível em: <<http://www.maxim-ic.com>>. Acesso em: jan. 2003.
- DALLAS SEMICONDUCTOR. DS1820: high precision digital thermometer. 2003b. Disponível em: <<http://www.maxim-ic.com>>. Acesso em: jan. 2003.
- DALLAS SEMICONDUCTOR. DS2438: smart battery monitor. 2003c. Disponível em: <<http://www.maxim-ic.com>>. Acesso em: jan. 2003.
- DALLAS SEMICONDUCTOR. MicroLAN Design Guide. Tech Brief 1. 2004. Disponível em: <<http://pdfserv.maxim-ic.com/en/an/tb1.pdf>>. Acesso em: jul. 2004.
- HONEYWELL. Interactive catalog replaces catalog pages. Disponível em: <<http://phanderson.com/3605.pdf>>. Acesso em: jan. 2003.
- MAIER, D.; MONTROSS, M. Aeration technology for moisture management. In: *Proceedings of the University of Illinois Grain Quality Conference*. Urbana: Managing Moisture in Grains and Oilseeds, 1997.
- MARTINS, J.H. *et al.* Simulation of an automatic controller for stored grain aeration systems. *Eng. Agric.*, Viçosa, v. 9, n. 1, p. 55-70, 2001.
- MONTEIRO, P.M.B. *Tecnologia 1-Wire™ aplicada ao controle em tempo real de sistemas de aeração de grãos*. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.
- NAVARRO, S.; NOYES, R.T. *The mechanics and physics of modern grain aeration management*. New York: Crc Press, 2001.
- NEUROLOGIC RESEARCH. Catálogo de produtos. 2003. Disponível em: <<http://www.neurologic-research.com/Datasheets>>. Acesso em: jan. 2003.
- PUGLIESI, N.L. *Capacidade de retenção e frequência de aplicação de solução nutritiva ao sistema radicular da alfaca em cultivo hidropônico (NFT)*. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.
- STEIDLE NETO, A.J. *Avaliação do sistema 1-Wire™ para aquisição de dados de temperatura em instalações agrícolas*. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.
- ZOLNIER, S. *Psicrometria I - caderno didático 13*. Viçosa: Imprensa Universitária/Universidade Federal de Viçosa, 1994.

Received on September 15, 2005.

Accepted on August 16, 2006.