

## Sistema para o Monitoramento da Temperatura e Umidade de um Silo utilizando Hardware de Baixo Custo e ScadaBR

Guilherme de Cezaro Stanga<sup>1</sup>, Robison Cris Brito<sup>1</sup>, Fábio Favarim<sup>1</sup>, Eduardo Todt<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Informática – UTFPR – Pato Branco – PR – Brasil

<sup>2</sup>Programa de Pós Graduação em Informática – UFPR – Curitiba – PR – Brasil

guistanga@gmail.com, {robison, favarim}@utfpr.edu.br, todt@inf.ufpr.br

**Abstract.** *Temperature monitoring in a silo is necessary because temperature is the main factor involved in the deterioration of stored grain. By controlling the temperature it is possible to reduce losses due to the proliferation of fungi and to avoid the germination of the grains. This work proposes a system for monitoring the internal temperature of a silo and the temperature and humidity of the incoming air in the silo. Monitoring uses ScadaBR supervisory software for storing and viewing temperature and humidity data. This supervisory software communicates via an RS-485 bus using Modbus protocol with the sensing devices. The system hardware uses sensors and microcontrollers to collect data for supervisory software. The system provides alarms and sends e-mail to registered users when reached predetermined temperatures, thus allowing the operator of the silo the decision making.*

**Resumo.** *O monitoramento de temperatura em um silo se faz necessário, pois a temperatura é o principal fator envolvido na deterioração do grão armazenado. Controlando a temperatura é possível reduzir perdas devido à proliferação de fungos e evitar a germinação dos grãos. Este trabalho propõe um sistema para monitoramento de temperatura interna de um silo e da temperatura e umidade do ar de entrada no silo. O monitoramento utiliza o ScadaBR, um software supervisor para armazenamento e visualização dos dados de temperatura e umidade. Esse sistema supervisor se comunica através de um barramento RS-485 utilizando protocolo Modbus com os dispositivos sensores. O hardware do sistema utiliza sensores e microcontroladores para a coleta de dados para o sistema supervisor. O sistema fornece alarmes e envio de e-mail para usuários cadastrados quando atingidas temperaturas pré-determinadas, assim permitindo ao operador do silo a tomada de decisão.*

### 1. Introdução

A produção agrícola é responsável por 20% do Produto Interno Bruto (PIB) total da economia brasileira. Nos últimos anos o país tem aumentado as taxas de colheita enquanto a área plantada não obteve significativo aumento, o que significa maior produtividade. Esta produção é em parte resultada do emprego de melhores tecnologias no campo [CONAB 2015].

Um fator preocupante no cenário agrícola brasileiro é a quantidade insuficiente e a qualidade dos locais para armazenagem de grãos. Durante o armazenamento deve-se adequar os índices de temperatura e umidade para valores específicos do grão armazenado com o propósito de evitar perdas do produto.

Em países como França, Argentina e Estados Unidos, 30 a 60% da safra é armazenada nas próprias fazendas dos produtores, enquanto no Brasil, esta prática não é muito popular, representando 5% da produção apenas, geralmente os produtores armazenam sua produção em cooperativas. O principal fator deste baixo percentual é o alto custo de uma unidade de armazenamento e secagem dos grãos [d'Arce 2011].

Em um silo (estrutura armazenadora e secadora de grãos), o ar presente entre os grãos não é estático, está em movimento contínuo causado por correntes de convecção resultantes da diferença de densidade entre o ar quente e o ar frio. Quando ocorre movimentação do ar das regiões mais quentes para as mais frias, o ar quente apresenta maiores índices de umidade causados pelo arrefecimento do ar quente na região fria. Na ocorrência destes acúmulos de umidade, o ambiente torna-se favorável a proliferação de pragas que degradam o grão, provocando perdas na produção [da Silva 2015].

Para a correta secagem dos grãos é necessário que o ar injetado no silo possua menor índice de umidade que a umidade no interior do silo [da Silva 2015]. Portanto, com dados de umidade relativa do ar e a temperatura do ambiente externo é possível a tomada de decisões sobre o ar de entrada, por exemplo: aquecer ou resfriar este ar, com o intuito de diminuir sua umidade. Outro fator importante é a massa de grãos ter comportamento de isolante térmico, isso significa que diferentes regiões do silo podem estar com diferentes temperaturas, dessa forma é necessário o mapeamento de diversas regiões com sensores não mais próximos do que dois metros [d'Arce 2011].

Um sensor de temperatura torna possível a avaliação das condições de armazenamento pelo fato do aumento da temperatura estar relacionada com focos de pragas ou movimentação de umidade. Como o índice de temperatura está relacionado com a umidade, não se necessita medir esta no interior do silo. Além disso, os sensores existentes para medição de umidade no mercado fazem a mensuração em relação ao ar e não em relação ao grão. A medição de umidade no grão é realizada em laboratório com equipamentos específicos e de custo elevado [d'Arce 2011].

Desta forma, as unidades armazenadoras de grãos equipam seus silos com sistemas de termometria que geralmente são compostos por uma estação para verificar as condições do ar atmosférico, cabos pêndulos contendo sensores de temperatura que ficam dentro do silo imerso aos grãos, um hardware central para coleta dos valores de temperatura e um software que recebe e trata estes valores.

O custo de um sistema de termometria é relativamente elevado. Após uma pesquisa de mercado foi concluído que grandes cerealistas consideram esse sistema essencial para o controle de silos, já os poucos produtores que possuíam silos em suas propriedades não tinham condições de comprar um sistema do mesmo porte que as grandes cerealistas ou nem mesmo tinham conhecimento desse tipo de sistema.

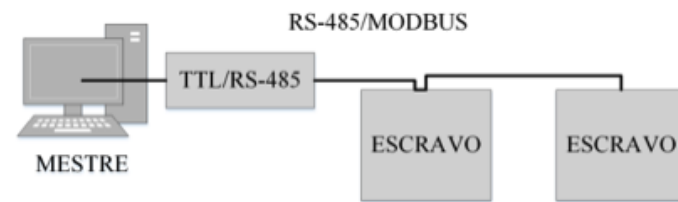
Considerando a importância de que a secagem de grãos seja correta em termos de temperatura e umidade mensuradas uniformemente nos silos, assim como a possibilidade da futura popularização dos silos nas propriedades rurais no Brasil, este trabalho apresenta uma proposta de um sistema de monitoramento que pode ser utilizado para o mapeamento dos índices de temperatura em pontos dispersos do silo, assim como a temperatura e a umidade do ar atmosférico. O sistema proposto faz uso de hardware e software de baixo custo, visando a popularização deste tipo de sistema.

Segundo [Stallman and Gay 2002], Software Livre é todo software no qual o usuário final tem a liberdade de usar, estudar, compartilhara ou modificar o software. Neste contexto, o software ScadaBR utilizado neste trabalho atende estas premissas. Já Hardware Livre ou Hardware Open Source, segundo [OSHOWA 2013], é o termo que abrange máquinas, dispositivos, ou qualquer outra coisa física, que são desenvolvidos e disponibilizado de forma pública permitindo que o usuário também possa criar, modificar, distribuir e utilizar o hardware.

Utilizando hardware e software de baixo custo, o sistema proposto pode vir a contribuir aumentando a eficiência do processo de secagem e armazenagem de grãos, fornecendo informações para a tomada de decisões, corrigindo problemas relacionados a perdas no armazenamento de grãos, contando com recursos de baixo custo (hardware e software livre).

## 2. Descrição do Sistema

O sistema proposto utiliza uma arquitetura mestre/escravo com protocolo Modbus em um barramento RS-485, em que os escravos são dispositivos microcontrolados responsáveis por coletar dados das variáveis do silo, utilizando um meio físico, transportá-los para o mestre. O mestre consiste em um software supervisorio executando em computador de propósito geral que tem por função coletar os dados dos escravos, armazenar e mostrar os valores por meio de uma interface visual ao usuário. A Figura 1 apresenta a estrutura do sistema.



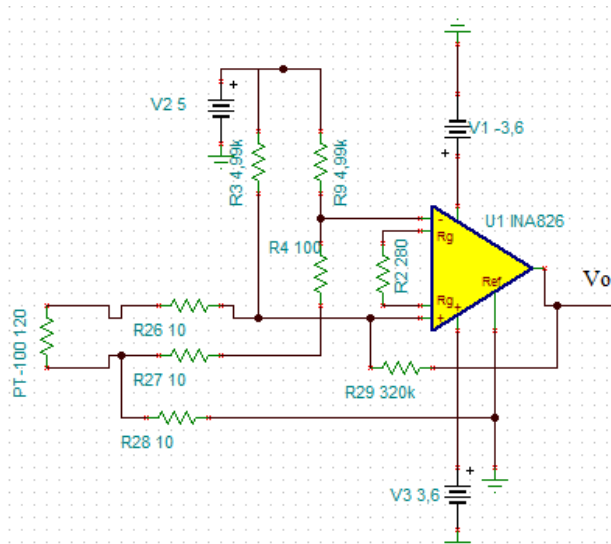
**Figura 1. Diagrama de componentes e conexões do sistema.**

O desenvolvimento do sistema pode ser dividido em 3 partes principais: o desenvolvimento dos dispositivos sensores (escravos); o desenvolvimento da rede mestre/escravo e; desenvolvimento do sistema supervisorio (mestre).

### 2.1. Dispositivo Sensor

Cada dispositivo sensor corresponde a um escravo na Figura 1. Para mensurar a temperatura dos grãos no silo, foi utilizado o termoresistor PT-100, na versão inox (V4A). Este sensor é um dos mais usados na indústria devido sua precisão e boa linearidade, estes fatores influenciaram na escolha para este trabalho. Para adequar os valores de tensão para correta leitura no conversor analógico-digital (A/D) do microcontrolador, foi necessário um circuito de instrumentação. Para isso utilizou-se o amplificador de instrumentação INA826 em um circuito em ponte de três fios. Esta ligação de três fios é recomendada para esta aplicação pois cada termoresistor pode ficar a distâncias relativamente grandes do dispositivo sensor, cerca de 20 metros. Sua função é compensar a resistência elétrica dos cabos, a qual pode causar erros de medição. A Figura 2 mostra o esquemático da instrumentação, os valores dos resistores foram calculados para que dada uma faixa de temperatura de 0 – 50°C a saída  $V_o$  seja de 0-3.6V. Note que os resistores R26, R27 e

R28 apenas indicam a resistência dos cabos. Foram utilizados trimpots de  $500\Omega$  para os resistores R2 e R4. Como a fonte para a ponte é de 5V, os resistores R3 e R9 são de cerca de  $5k\Omega$  para que a corrente que passa pelo PT-100 fique em torno de 1mA, o recomendado para este sensor.



**Figura 2. Circuito de instrumentação.**

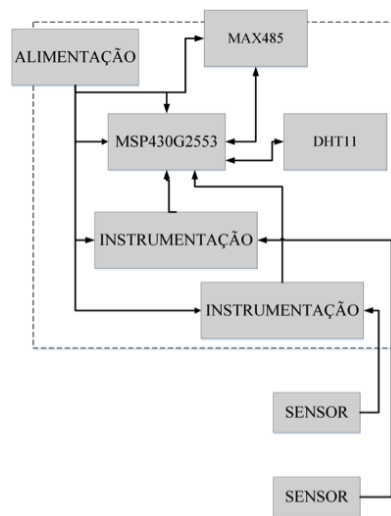
Para mensurar a temperatura e a umidade do ar, foi utilizado o sensor DHT11. O DHT11 possui faixa de medição de umidade entre 20 a 90% com precisão de  $\pm 5\%$  UR e mede temperaturas na faixa de 0 a  $50^{\circ}\text{C}$  com precisão de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Sua alimentação é de 3-5V e o tempo de resposta de 2s. Esse sensor foi utilizado em apenas em um dos escravos para a medição da temperatura e umidade externa do ar. Para comunicação com o DHT11 foi utilizado uma biblioteca desenvolvida por Bryce Feigum [Feigum 2013], a qual necessita de um timer e um bit de uma porta do microcontrolador. O dispositivo sensor também necessita do circuito integrado MAX485, responsável por converter sinais do padrão TTL para RS-485. Isto é necessário para adequar a saída da UART do microcontrolador para a rede que comunica o mestre com os escravos, também é necessário um bit para indicar ao MAX485 a ativação do recebimento ou transmissão pela UART.

Também há no dispositivo sensor um microcontrolador MSP430G2553 e é responsável por receber as requisições do mestre, coletar os dados de todos os sensores e devolver uma resposta ao mestre. Para comunicar-se com a rede mestre/escravo foi utilizado o FreeModbus, uma implementação de código aberto para o escravo do protocolo Modbus, esta implementação utiliza um timer do microcontrolador. Para configuração do conversor A/D, foi utilizado múltiplos canais com disparo de amostragem por software.

Para alimentação do dispositivo sensor, foi desenvolvida uma fonte linear utilizando os CI reguladores de tensão LM337 e LM317. A fonte e o dispositivo sensor foram montadas em placas separadas, conectadas por quatro cabos e fornecendo os níveis de tensões de 5V, 3.6V, -3.6V e o GND. A Figura 3 mostra o esquema do circuito utilizado em cada dispositivo escravo.

## 2.2. Rede Mestre/Escravo

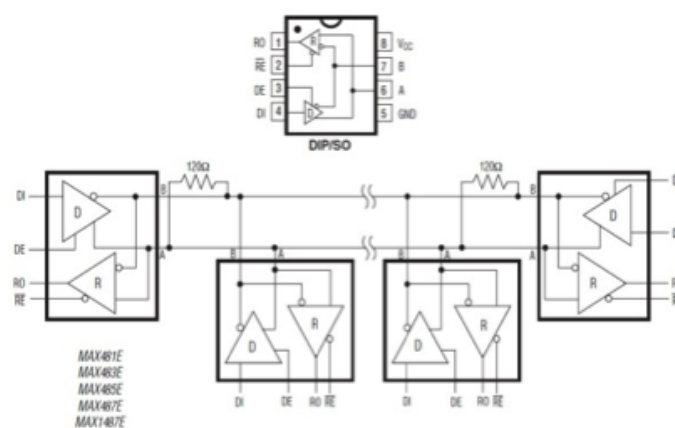
Para a comunicação entre os escravos e o mestre, a rede tem como meio físico o padrão RS-485. Este padrão trabalha com níveis de tensão diferentes das tensões usadas no com-



**Figura 3. Diagrama de componentes e conexões de um escravo.**

putador de propósito geral (saída USB) e nos microcontroladores (TTL). Para conversão do sinal USB/RS-485, foi utilizado o componente FT232RL junto com um MAX485.

O padrão RS-485 é vantajoso para esta aplicação pois podem ser conectados até 32 escravos e com uma velocidade de comunicação de 9600bps, sendo que o cabo da rede pode alcançar até 1.2Km, permitindo o sistema interligar vários silos. Outra vantagem é o padrão por ser de comunicação diferencial, é robusto em relação a interferências. A Figura 4 mostra o circuito integrado MAX485 e sua pinagem além da aplicação do MAX485 em uma rede RS-485 comunicando-se com diversos dispositivos. Note que existem resistores de  $120\Omega$  nas extremidades da rede, sua função é evitar reflexões de sinal no barramento.



**Figura 4. MAX-485 e rede RS-485 com resistores de terminação**

A utilização do protocolo Modbus pelo mestre ocorre da seguinte forma. O mestre é programado para um dado intervalo de tempo fazer requisições aos escravos, nesta aplicação foi utilizado somente a função 03, de leitura de registradores. Assim, o mestre envia uma requisição contendo o endereço do escravo, a função a ser executada, um campo de dados contendo o número do registrador inicial e o número de registradores para leitura além de um campo de CRC, o escravo correspondente após receber a requisição e tratá-la, responde com o seu endereço, o código da função, os dados solicitados e o CRC.

### 2.3. Sistema Supervisório

O sistema supervisório está instalado no mestre na Figura 1. Foi utilizado o software supervisório ScadaBR, um software do tipo SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) de código aberto baseado em Java e pode ser executado em um navegador. Entre as funções de um software SCADA, pode-se destacar o monitoramento e o controle de processos, assim como emissão de relatórios e acionamento de alarmes [SCADABR 2010].

O ScadaBR foi instalado em um computador de propósito geral. Este usa uma porta de comunicação serial USB para comunicação com os escravos pela rede RS-485. Inicialmente foi definida a base de dados do sistema, sendo utilizado o banco de dados Derby que vem na instalação. Em seguida as variáveis envolvidas, isto é, umidade e temperatura, foram definidos no sistema. Além disso, foram cadastrados usuários e configurado as especificações para o envio de email.

O ScadaBR permite a geração de alarmes, desse modo foram definidas uma faixa de valores permitidos para temperatura e umidade, assim como atribuído esta informação aos sensores. Desse modo, o alarme será disparado se um sensor atingir este valor. Assim, quando a temperatura em algum ponto do silo ultrapassar a faixa de valores especificada, soará um alarme e também é enviado um e-mail com o propósito de avisar o operador do sistema. O ScadaBR também permite enviar relatórios programados contendo gráficos dos valores dos sensores.

Foi desenvolvida uma interface gráfica para o usuário, o qual permite ao operador a visualização dos dados, assim como possa interagir com o sistema realizando buscas no banco de dados. Com os dados do valor do sensor e sua posição, é possível na interface gráfica do usuário mostrar a posição correspondente do sensor e o valor lido. A Figura 5 mostra os sensores posicionados no silo a esquerda e a direita a Interface Gráfica do Usuário desenvolvido no ScadaBR. Neste são apresentados os dados de alguns sensores, assim como os valores coletados do ambiente externo.

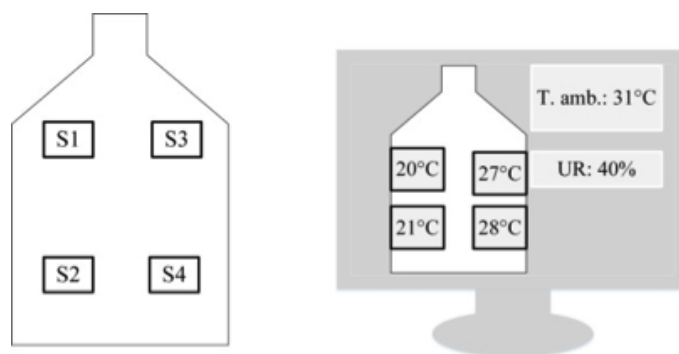


Figura 5. Sensores no silo e supervisório mostrando os dados.

### 3. Resultados

Após as etapas descritas até o momento, foram realizados testes em bancada com o protótipo montado. Para simular um silo, os sensores PT-100 foram colocados imersos em um recipiente contendo grãos de milho. Foram montados dois dispositivos sensores, embora que o padrão RS-485 permite até 32 dispositivos na mesma rede, e em cada dispositivo foi utilizado dois sensores PT-100 embora cada dispositivo possui 6 canais disponíveis.

Foram feitos ajustes com o trimpot de cada circuito de instrumentação para calibrar corretamente os valores de temperatura. O circuito de instrumentação comportou-se de maneira semelhante às simulações no software Tina-TI e com os valores esperados calculados. Para verificar se o valor medido estaria correto, foi utilizado um multímetro para comparação, pois era o único instrumento para mensuração de temperatura disponível na universidade. Os valores de temperatura provenientes dos sensores PT-100 mostraram-se semelhantes com os valores do multímetro, com erros próximos de  $1^{\circ}\text{C}$  devido à calibração com o trimpot não ficar perfeita e também pelo sensor PT-100, embora teoricamente a  $0^{\circ}\text{C}$  ser 100 ohm, não possuía esta característica em ambiente real. A Figura 6 mostra a parte superior da placa de um escravo montado junto com os cabos com os sensores PT-100, as fontes, os cabos para a rede RS-485 e contendo o sensor DHT11 [Aosong Electronics Co. 2017].

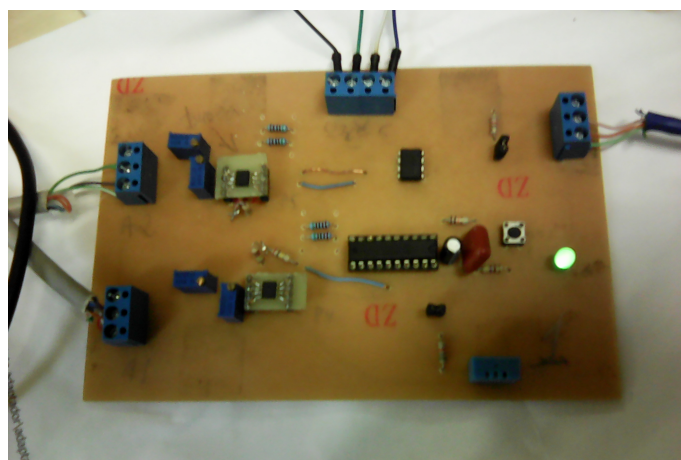


Figura 6. Foto do dispositivo sensor desenvolvido para o trabalho.

O próximo passo foi testar a comunicação entre o mestre e os escravos. Foram realizados testes primeiramente sem os resistores de terminação, nos quais eventualmente ocorreu alguma falha. Posteriormente, foram realizados testes com os resistores de terminação e os resistores de *pull-up* e *pull-down*, nos quais não houve ocorrência de falhas. Também vale destacar que grande ocorrência de ruídos era causada devido ao GND do computador e dos dispositivos escravos não estarem conectados. A Figura 7 mostra uma captura dos sinais A (azul) e B (amarelo) do barramento RS-485 por um osciloscópio, o sinal em vermelho é a operação matemática  $A - B$ , resultando no sinal em padrão TTL.

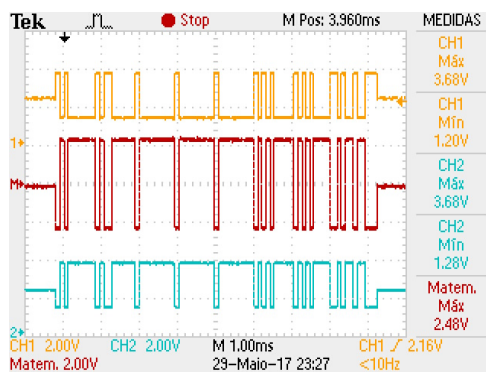
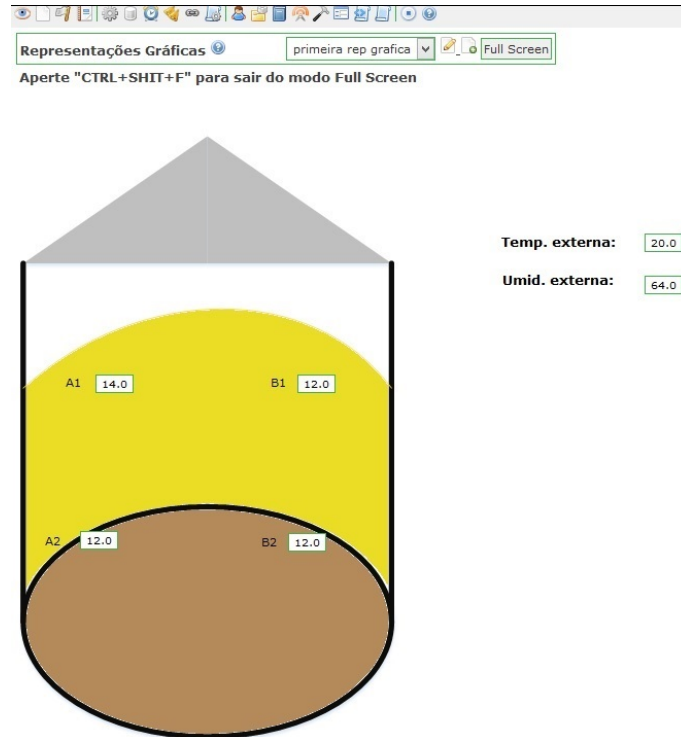


Figura 7. Sinais do barramento RS-485.

A Figura 8 mostra a tela do ScadaBR com os valores dos sensores e a posição de cada sensor em um silo e também os valores da temperatura e umidade do ar. Nesta interface é possível o operador acompanhar a mudança dos valores em tempo real.



**Figura 8. Imagem da tela de visualização de acompanhamento de amostras.**

Quando a temperatura de um dos pontos do silo passou de 30°C por mais de 10 segundos, um alarme sonoro e visual foi acionado no ScadaBR e um e-mail foi enviado para os usuários cadastrados, conforme mostrado na Figura 9. Além dos alarmes, o ScadaBR também enviou o relatório conforme o programado.

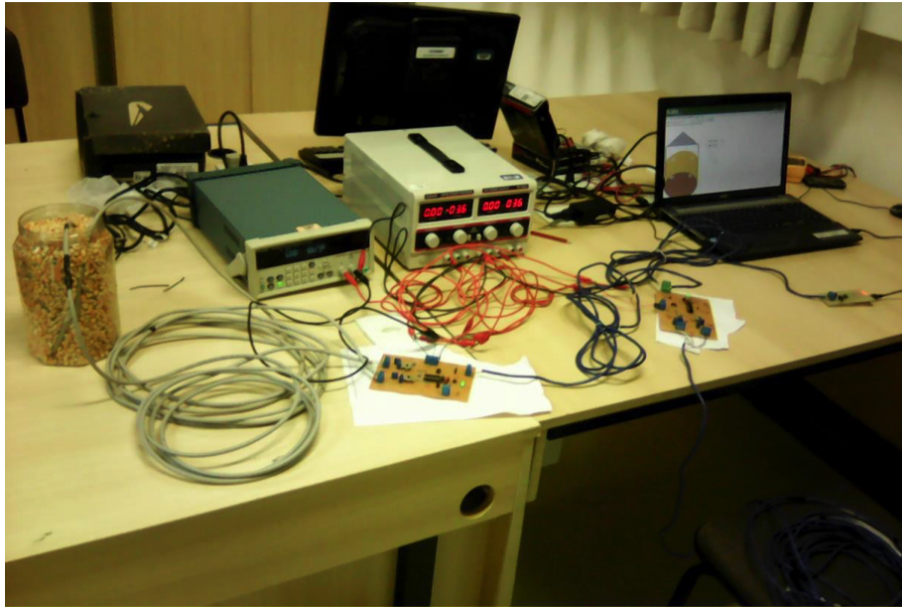


**Figura 9. E-mail enviado pelo ScadaBR para um usuário cadastrado.**

A Figura 10 mostra o sistema completo, com o ScadaBR executando em um computador, a rede RS-485 com o adaptador RS-485/USB, os dispositivos sensores e um recipiente contendo grãos para os testes com os sensores PT-100.

Cada dispositivo sensor contendo 2 sensores PT-100 teve um custo aproximado de R\$ 150,00 e o dispositivo sensor contendo também o sensor DHT11, teve um custo aproximado de R\$ 163,00. O maior custo de cada dispositivo sensor é o custo do sensor PT-





**Figura 10. Imagem geral do protótipo geral desenvolvido.**

100, que custa em média R\$50,00. Existem no mercado outras alternativas mais baratas a este sensor, porém, para o presente trabalho este sensor foi escolhido por sua robustez, precisão e linearidade. Em contrapartida, sua escolha acarretou em um aumento significativo no valor dos dispositivos sensores, pois, além do valor deste sensor, são necessários outros componentes para sua instrumentação, sendo esta relativamente complexa. Além do dispositivo sensor, é necessário uma fonte de alimentação para cada dispositivo sensor. A fonte desenvolvida teve custo de R\$59,00. E para conectar o sistema a um computador se faz necessário o uso de um conversor USB/RS-485 e esse teve um custo de R\$47,00.

Para dimensionar o custo do sistema em um silo, os cabos com os sensores podem estar espaçados com distâncias de aproximadamente 5 metros, e os sensores em cada cabo, espaçados em aproximadamente 2,5 metros. Para exemplificar, considerando um silo com 9,68m de altura e 8,25m de diâmetro, são necessários de 3 a 4 cabos pendulos. Cada cabo está ligado a um dispositivo sensor com 4 sensores PT-100. Um dispositivo sensor com 4 sensores PT-100 teria um custo de aproximadamente R\$ 275,00, mais o custo dos cabos para cada sensor e da fonte de alimentação. Para cada cabo pendulo seriam necessários aproximadamente 50 metros de cabos, considerando o custo de R\$ 1,10 o metro, totaliza R\$ 55,00 em cabos. Assim o custo de cada cabo pêndulo com sensores, cabos e a fonte, seria de aproximadamente R\$ 389,00. Considerando um 3 cabos pêndulos em um silo, o custo total seria de R\$ 1167,00.

#### **4. Conclusões**

O protótipo desenvolvido cumpriu com suas funções, foi capaz de monitorar a temperatura entre os grãos e a temperatura e umidade do ar. Também foi capaz de emitir alarmes sonoros e visuais e enviar e-mail quando algum valor de temperatura dos grãos passou de 30°C.

Para esta aplicação não é necessário uma precisão da ordem de mais de uma casa decimal. Em conversa com técnicos que operam silos, pode ocorrer de em um dia enso-

larado, mesmo o sistema de monitoramento da cerealista indicar temperatura elevada, os aeradores só são acionados na parte da noite, com a temperatura e umidade do ar mais baixa.

Uma melhoria que pode ser feita é adicionar uma lógica de controle para acionamento dos aeradores de forma automática. Outras melhorias que podem ser feitas são no circuito do dispositivo sensor, como adicionar filtros na saída da instrumentação e um circuito para impedir tensões negativas nas portas do AD do microcontrolador. O sensor PT-100 foi eficiente em sua função, porém, mesmo sendo um sensor com a vantagem de precisão e características lineares, traz desvantagens quando ao custo. O PT-100 custa em média R\$ 50,00 e para esta aplicação são necessários vários sensores, o que deixaria um projeto custoso. Além de seu circuito de instrumentação, que se não for corretamente calibrado o protótipo deixa de usufruir de suas vantagens.

Para tornar este protótipo um produto, para ser instalado em silos, algumas melhorias são necessárias. Maior robustez a vibrações, poeira, mal contatos, interferência e vaoir outros fatores, o que acabaria por elevar um pouco o custo final, mas ainda assim seria bem menos custoso que um sistema encontrado no mercado. Em uma pesquisa de mercado foram encontrados valores comerciais de aproximadamente R\$ 30.000,00. Logo, o sistema proposto seria uma alternativa de baixo custo, principalmente para produtores que possuem silos em suas propriedades rurais.

## Referências

- Aosong Electronics Co., L. (2017). Datasheet digital output relative humidity & temperature sensor/module - dht22. In <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>. Acessado em 24 de maio de 2017.
- CONAB (2015). Conab. acompanhamento da safra brasileira - grãos. In [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_09\\_11\\_10\\_42\\_03\\_boletim\\_graos\\_setembro\\_2015.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_09_11_10_42_03_boletim_graos_setembro_2015.pdf). Acessado em 30 de outubro de 2017.
- da Silva, L. C. (2015). Secagem de grãos. In *Boletim Técnico: AG: 04/05 em 29/03/2005*. Universidade Federal do Espírito Santo.
- d'Arce, M. A. B. R. (2011). Pós colheita e armazenamento de grãos. In <http://www.esalq.usp.br/departamentos/lan/pdf/Armazenamentodegraos.pdf>. Acessado em 30 de outubro de 2017.
- Feigum, B. (2013). DHT11 Library for MSP430. <https://github.com/bafeigum/DHT11-Library-for-MSP430>. [Online; Acessado em 05 de junho de 2017].
- OSHOWA (2013). Open source hardware definition. <https://www.oshwa.org/definition/>. [Acessado em 6 de novembro de 2017].
- SCADABR (2010). Manual de software. In <http://www.scadabr.com.br/?q=downloads>. Acessado em 01 de novembro de 2015.
- Stallman, R. M. and Gay, J. (2002). *Free Software, Free Society: Selected Essays of Richard M. Stallman*. Free Software Foundation, Boston, MA USA.