

# Comparação entre a Exatidão de Sensores Analógicos e Digitais Utilizados em Sistemas de Termometria

25

*Juliana Soares Zeymer<sup>1</sup>, Carlos Henrique Osório Silva<sup>2</sup>, Murilo Gehrman Schneider<sup>3</sup>, Eduardo de Aguiar<sup>3</sup>, Tarcísio Cardoso Selinger<sup>3</sup>*

---

## RESUMO

A temperatura está entre os fatores que mais influenciam na conservação da qualidade dos grãos armazenados, assim o monitoramento e controle da mesma se torna fundamental. Os valores das elevações de temperatura na massa de grãos são monitorados por sistemas de termometria com sensores analógicos ou digitais. O objetivo deste estudo foi avaliar a exatidão da leitura de temperatura de sensores analógicos e digitais, comparados com um sistema de medição padrão (teste de calibração). Foram utilizados quatro sensores digitais de interface 1-Wire™ e quatro sensores termopares do tipo T (cobre-constantan). Os sensores digitais e analógicos foram submetidos ao teste de calibração, em uma faixa de medição de temperatura de 10, 20, 30, 40 e 50 °C. A temperatura e umidade relativa do ar durante a calibração foram de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $55 \pm 10\%$ , respectivamente. O teste de identidade de modelos permitiu concluir (valor  $p > 0,05$ ) que a leitura dos sensores digitais apresentou maior exatidão do que dos sensores analógicos, comparados ao sistema de medição padrão. Os quatro modelos de regressão linear simples dos sensores digitais foram equivalentes ao do modelo padrão, ou seja, os sensores digitais podem ser considerados como igualmente exatos quando comparados ao sistema de medição padrão.

Palavras-chave: Temperatura, Calibração, Aeração, Armazenamento.

<sup>1</sup>Universidade Federal de Viçosa, Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (CENTREINAR), Campus Universitário, CEP 36570-000, Viçosa, MG, Brasil. E-mail: juliana.zeymer@ufv.br

<sup>2</sup>Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Estatística, Campus Universitário, CEP 36570-000, Viçosa, MG, Brasil. E-mail: chos@ufv.br

<sup>3</sup>Empresa Procer Automação e Sistemas, Rua São Miguel do Oeste, 836, CEP 88815-100, Criciúma, SC, Brasil. E-mail: murilo@procer.com.br; eduardo@procer.com.br; tarcisio@procer.com.br

## INTRODUÇÃO

Com o aumento da produtividade de grãos no Brasil nos últimos anos, surgiu a necessidade de melhorias nas estruturas de armazenagem e sistemas de monitoramento dos grãos armazenados adequados para acompanhar este crescimento e evolução tecnológica.

A temperatura está entre os fatores que mais influenciam na conservação da qualidade dos grãos armazenados, assim o monitoramento e controle da mesma se torna fundamental (Park et al., 2012). Os valores das elevações de temperatura na massa de grãos são realizados por sistemas de termometria. Estes são compostos de sensores de temperatura distribuídos simetricamente no interior de silos ou graneleiros, conectados por meio de cabos que se destinam a medição da temperatura dos grãos em todo o volume interno da unidade armazenadora (Weber, 2005).

Os sistemas de termometria permitem identificar as variações da temperatura interna dos grãos. O monitoramento destas temperaturas informa o momento correto de acionamento dos sistemas de aeração para o resfriamento dos grãos, de forma preventiva, antes que se atinja um valor de risco de perda dos grãos armazenados (Neto e Lopes, 2015).

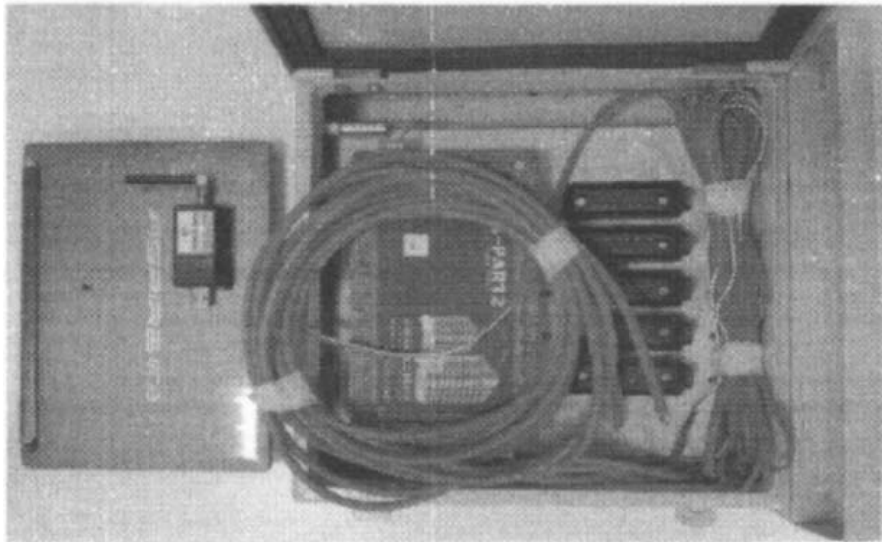
Sensores de temperatura são dispositivos que sob a ação de grandezas físicas, produzem saídas analógicas ou digitais, no qual possibilitam perceber as relações de calor entre os corpos e o ambiente (Thomazini e Albuquerque, 2011). Segundo Göpel (1989), as principais características a serem identificadas na seleção do tipo de sensor de temperatura e na tecnologia empregada na sua fabricação são: faixa de medição, exatidão, precisão, resolução e estabilidade.

Os sensores analógicos são aqueles que possuem sinais limitados entre dois valores de tensão, podendo assumir infinitos valores intermediários. Já os sensores digitais baseiam-se em níveis de tensão bem definidos, utilizando a lógica binária como base do seu funcionamento. Ao contrário dos sensores analógicos, onde os valores possíveis são teoricamente infinitos, um sensor digital poderá apenas alternar entre certos estados bem definidos, não sendo possível haver um valor intermediário entre eles (Patsko, 2006).

A faixa de medição ou operação dos sensores de temperatura refere-se aos valores compreendidos entre a temperatura mínima e máxima, detectáveis pelo sensor. A exatidão de um sensor de temperatura corresponde ao grau de proximidade entre o valor medido e o verdadeiro (padrão). Desta forma, objetivou-se no presente estudo avaliar a exatidão da leitura de temperatura de sensores analógicos e digitais, comparando-se com um sistema de medição padrão (teste de calibração).

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Metrologia (LAMETRO) pertencente à Faculdade SATC Educação e Tecnologia, localizada em Criciúma, Santa Catarina, Brasil. Foram utilizados quatro sensores digitais de interface 1-Wire™ com faixa de medição de temperatura de -10 à 85 °C e erro máximo de leitura de  $\pm 0,5$  °C; e quatro sensores analógicos termopares do tipo T (cobre-constantan) com faixa de medição de temperatura de -200 à 370 °C e erro máximo de leitura  $\pm 1$  °C, segundo informações dos fabricantes (Figura 1).



**FIGURA 1.** Sensores analógicos e digitais utilizados no estudo.

Os sensores analógicos e digitais foram submetidos ao teste de calibração, em uma faixa de medição de temperatura de 10, 20, 30, 40 e 50 °C, seguindo o procedimento interno de calibração P020/revisão 03 (ABNT, 2005). Os instrumentos padrões utilizados foram um calibrador portátil microprocessado CA – 001 e um termorresistor Pt 100 TR – 004. A calibração foi realizada por comparação com termorresistência padrão em forno de calibração utilizando-se inserto para equilíbrio térmico, proporcionando estabilidade e uniformidade. Aguardou-se o tempo para homogeneização da temperatura e, em seguida, foram realizados três ciclos de medição para cada ponto de calibração, utilizando-se a média das três leituras. A temperatura e umidade relativa do ar durante a calibração foram de  $20 \pm 2$  °C e  $55 \pm 10\%$ , respectivamente.

A análise estatística foi realizada empregando-se o teste de identidade de modelos, conforme metodologia *Direct Regression Approach* descrita por Ramon et al. (2006). A leitura da temperatura do modelo padrão, desprovidos de erro de medição, pode ser representada pelo modelo de regressão linear simples  $Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X$ , onde  $\beta_0 = 0$  e  $\beta_1 = 1$ . Ajustou-se um modelo de regressão linear simples para cada sensor e testaram-se as hipóteses  $H_0: \beta_0 = 0$  e  $H_0: \beta_1 = 1$  para os quatro sensores digitais e quatro sensores analógicos avaliados, permitindo comparar a identidade de modelos de regressão, bem

como a igualdade de quaisquer parâmetros entre os modelos. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software SAS (Statistical Analysis System, version 9.4, SAS Institute Inc, Cary, NC, USA, 2015) licenciado para uso na Universidade Federal de Viçosa. Adotou-se 5% como nível de significância das análises, adicionalmente os valores “p” dos testes foram informados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados as leituras de temperatura do modelo padrão, dos quatro sensores analógicos e dos quatro sensores digitais utilizados no estudo, além do erro relativo da medição (ER), definido de acordo com a Equação 1.

$$ER = \frac{\text{TempY} - \text{TempX}}{\text{TempX}} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

ER = erro relativo da medição, (%);

TempX = leitura da temperatura do sistema de medição padrão (°C);

TempY = leitura da temperatura dos sensores avaliados (°C).

**TABELA 1.** Temperatura resposta dos quatro sensores analógicos utilizados e erro relativo da medição

TempX (°C)	A1		A2		A3		A4	
	TempY (°C)	ER (%)	TempY (°C)	ER (%)	TempY (°C)	ER (%)	TempY (°C)	ER (%)
10	13,5	35,0	13,8	38,0	13,5	35,0	13,8	38,0
20	21,1	5,5	21,2	6,0	20,7	3,5	21,0	5,0
30	28,7	-4,3	28,9	-3,6	28,6	-4,7	28,6	-4,7
40	36,5	-8,8	37,3	-6,8	36,2	-9,5	36,2	-9,5
50	43,7	-12,6	43,4	-13,2	43,4	-13,2	43,4	-13,2

Em que: A1, A2, A3 e A4 = sensores analógicos 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

**TABELA 2.** Temperatura resposta dos quatro sensores digitais utilizados e erro relativo da medição

TempX (°C)	D1		D2		D3		D4	
	TempY (°C)	ER (%)	TempY (°C)	ER (%)	TempY (°C)	ER (%)	TempY (°C)	ER (%)
10	10,8	8,0	10,8	8,0	10,9	9,0	10,5	5,0
20	20,1	0,50	19,8	-1,0	19,9	-0,50	19,7	-1,5
30	29,6	-1,33	29,8	-0,66	29,5	-1,66	29,4	-2,0
40	39,8	-0,50	39,3	-1,75	39,5	-1,25	39,5	-1,25
50	50,3	0,60	49,4	-1,20	49,9	-0,20	49,8	-0,40

Em que: D1, D2, D3 e D4 = sensores digitais 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Analisando as Tabelas 1 e 2, verifica-se que os sensores analógicos apresentaram valores consideravelmente maiores do erro relativo (ER, %), para todas as faixas de temperatura avaliadas (10, 20, 30, 40 e 50 °C), quando comparados aos sensores digitais. De acordo com Draper e Smith (1998), quanto menor o valor do erro relativo, maior é a exatidão do processo, que se refere à concordância da medida com um nível de referência (padrão) ou valor conhecido. Desta forma, observa-se que as leituras dos sensores digitais apresentaram-se mais acuradas do que a leitura dos sensores analógicos, quando comparado ao sistema de medição padrão.

Na Tabela 3 são apresentados os modelos de regressão ajustados para cada um dos quatro sensores analógicos e quatro sensores digitais avaliados no estudo, com respectivo teste de igualdade de parâmetros, para os sensores A1, A2, A3, A4, D1, D2, D3 e D4 comparados com o sistema de medição padrão de leitura da temperatura, para as cinco temperaturas avaliadas (10, 20, 30, 40 e 50 °C).

O símbolo de igualdade (=) presente na Tabela 3 indica que o teste t não rejeitou a hipótese de igualdade entre os parâmetros do modelo de regressão linear simples dos sensores digitais comparando-se com o padrão. Estimativas foram apresentadas somente quando o teste indicou diferença significativa. Os valores sobrescritos representam o valor p do teste t para a respectiva hipótese de nulidade ( $H_0: \beta_0 = 0$  e  $H_0: \beta_1 = 1$ ).

A hipótese  $H_0: \beta_0 = 0$  testa se as medidas se diferem por uma constante, ou seja, se as medidas de temperatura dos sensores se diferem por constante  $\beta_0$  da medida fornecida pelo sistema de medição padrão. A hipótese  $H_0: \beta_1 = 1$  testa se as medidas são proporcionais, ou seja, se as medidas de temperatura dos sensores são proporcionalmente iguais às medidas fornecidas pelo sistema de medição padrão.

**TABELA 3.** Modelos de regressão ajustados e teste de igualdade de parâmetros para os oito sensores de temperatura avaliados no estudo

Sensor	$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X^*$	
	$\beta_0$	$\beta_1$
SMP	0,00	1,00
A1	5,96 < 0,01%	0,76 < 0,01%
A2	6,33 < 0,01%	0,75 < 0,01%
A3	5,89 < 0,01%	0,75 < 0,01%
A4	6,28 < 0,01%	0,74 < 0,01%
D1	=	=
D2	=	=
D3	=	=
D4	=	=

\* 5% de probabilidade pelo teste t. Em que: SMP = sistema de medição padrão; A1, A2, A3 e A4 = sensores analógicos 1, 2, 3 e 4, respectivamente; D1, D2, D3 e D4 = sensores digitais 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Sendo assim, observa-se que os quatro modelos de regressão linear simples dos sensores digitais são equivalentes ao modelo de regressão linear simples do sistema de medição padrão, isto é, os sensores digitais podem ser considerados como igualmente exatos quando comparados ao sistema de medição padrão. Já os sensores analógicos apresentam leituras significativamente diferentes do sistema padrão, podendo-se afirmar que os seus valores são mais distantes da realidade do que os valores dos sensores digitais utilizados no presente estudo.

Uma possível explicação para os resultados encontrados neste trabalho se devem ao fato de que os sensores analógicos termopares necessitam de calibração constante para um maior rendimento e exatidão de leitura da temperatura. De acordo com Almeida (2009), em muitos casos, um termopar realiza somente algumas poucas medições e já não está mais apto a realizar medidas. É comum, também, o termopar continuar apto a realizar medidas, mas necessitar de calibração e ajuste para continuar operando na faixa correta.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, S.G.M. **Auto-calibração e linearização de sensores utilizando técnicas de inteligência computacional**. Dissertação (Eng. Elétrica). Universidade Federal de Minas Gerais. 2009. 124p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISSO/IEC 17025: requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração**. 2005.

DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1998. 736p.

GÖPEL, W. Solid-state chemical sensors: atomistic models and research trends. **Sensor and Actuators**, v.16, n.1-2, p.167-193, 1989.

NETO, A.J.S.; LOPES, D.C. Thermistor based for grain aeration monitoring and control. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.116, p.45-54, 2015.

PARK, C.E.; KIM, Y.S.; PARK, K.J.; KIM, B.K. Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures. **Journal of Stored Products Research**, v.48, p.25-29, 2012.

PATSKO, L.F. **Tutorial-aplicações, funcionamento e utilização de sensores**. Maxwell Bohr: Instrumentação eletrônica, 2006, 84p.

RAMON, C.L.; GEORGE, A.M.; WALTER, W.S.; RUSSEL, D.W.; OLIVER, S. **SAS® for Mixed Models**, (2<sup>nd</sup> ed.). Cary, NC: SAS Press, SAS Institute Inc., 2006, 814p.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Érica, 2011. 224p.

WEBER, E.A. **Excelência em beneficiamento e armazenagem de grãos**. Canos: Editora Salles, 2005, 586 p.