

SISTEMA TELEMÉTRICO DE MONITORAÇÃO DE TEMPERATURA PARA BOVINOS

DEVELOPMENT OF A TELEMETRIC TEMPERATURE MONITORING SYSTEM FOR BOVINE APPLICATION

ALDO IVAN CÉSPEDES ARCE¹
ANA CAROLINA DE SOUSA SILVA¹
ADRIANO ROGÉRIO BRUNO TECH^{1,2}
ERNANE JOSÉ XAVIER COSTA¹

RESUMO:

Este artigo apresenta um sistema completo de instrumentação para monitoração de temperatura, desenvolvido para auxiliar na coleta de dados para estudo de estresse térmico em bovinos. Nesse equipamento o elemento sensor pode ser implantado no animal. O sistema utiliza tecnologia de sensores sem fio e possui capacidade de gerenciamento através de um programa de computador. Os resultados obtidos mostram que o sistema desenvolvido é capaz de monitorar a temperatura de bovinos a cada cinco minutos, durante 30 dias, com precisão de 0.0625° C.

PALAVRAS-CHAVES: Sensores; Temperatura; Sensores sem fio; Estresse Térmico.

¹ Laboratório de Física Aplicada e Computacional, Departamento de Ciências Básicas, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, R. Duque de Caxias Norte, 225, CEP 13635-900, Pirassununga – SP, Brasil. ernane@usp.br

² Academia da Força Aérea, Força Aérea Brasileira – Campo Fontenelle, Pirassununga – SP, Brasil.

Recebido: Set/07
Aprovado: Dez/07

ABSTRACT:

This paper presents a complete telemetric temperature monitoring system developed to speed up bovine behavior studies under temperature exposure. The equipment uses wireless sensor technology and is interfaced by a computer program. The sensor can be implanted into animal. Results obtained show that the developed system is able to monitor bovine temperatures with a sample rate of five minutes during 30 days with accuracy of 0.0625° C.

KEYWORDS: Sensors; Temperature; Wireless Sensors; Heat Stress.

INTRODUÇÃO

A exportação de produtos de origem animal é uma importante atividade econômica para o Brasil e as necessidades e exigências do mercado internacional, tanto em relação à qualidade da carne, quanto ao bem estar do animal, são de interesse do sistema produtivo brasileiro. Há muitos fatores que interferem na produtividade animal, como genética, nutrição e fatores bioclimatológicos e ambientais. Nas condições ambientais brasileiras, a maior preocupação é com o estresse térmico já que o desconforto térmico sofrido pelos animais durante períodos de elevadas temperaturas pode resultar em perdas na produção devido à redução da ingestão de alimentos, redução no ganho de peso e, em casos extremos, até a morte do animal (HAHN, 1999; MADER et al., 2002; BROWN-BRANDL, 2003). Nestas circunstâncias, os criadores de gado e os pesquisadores na área da etologia necessitam adquirir dados que permitam entender como os animais respondem a estes fatores para que possam tomar decisões, estabelecer estratégias de atuação e táticas, a fim de reduzir as perdas em períodos de temperatura elevada. Para minimizar estas perdas, são usados muitos índices de estresse ambiental, baseados nas frequências cardíaca e respiratória (BROWN-BRANDL, 2003) e, nas temperaturas timpânica (HAHN, 1999; MADER et al., 2002), retal (CARVALHO et al., 1995) e corporal (LEFCOURT et al., 1996) além disso, existem modelos capazes de avaliar e prever o grau

de conforto térmico de bovinos (SILVA, 2000).

Um sistema de medida de temperatura com a capacidade de medição sem interferir no comportamento natural dos animais é crucial em pesquisas de tolerância ao calor, por esta razão, as atividades de monitoramento animal demandam o desenvolvimento de equipamentos e tecnologia específicos para este tipo de tarefas. O avanço das pesquisas na área de sensores sem fio possibilitou a aplicação dessa tecnologia na experimentação animal e seu emprego é viável como demonstrado por Silva (2005). O uso da telemetria permite a coleta de dados de animais em atividade livre com maior precisão e de forma automática.

Este artigo apresenta um sistema de medição de temperatura telemétrico usando o microcontrolador RFPic12F675 da Microchip® e o elemento sensor TMP100 da Texas Instruments (ALBUS, 2002) que foi devidamente encapsulado para ser implantado na mucosa retal e vaginal de bovinos. Além disso, foram desenvolvidos, um equipamento rádio base utilizando o transceptor Bim 2 da Radiometrix® e um programa de computador para gerenciar a aquisição dos dados.

MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 1 mostra o diagrama do sistema proposto. O sistema desenvolvido consiste de dois módulos: o módulo 1, que é uma estação

rádio base fixa acoplada a um microcomputador e o módulo 2, que é transmissor de coleta embarcado no animal.

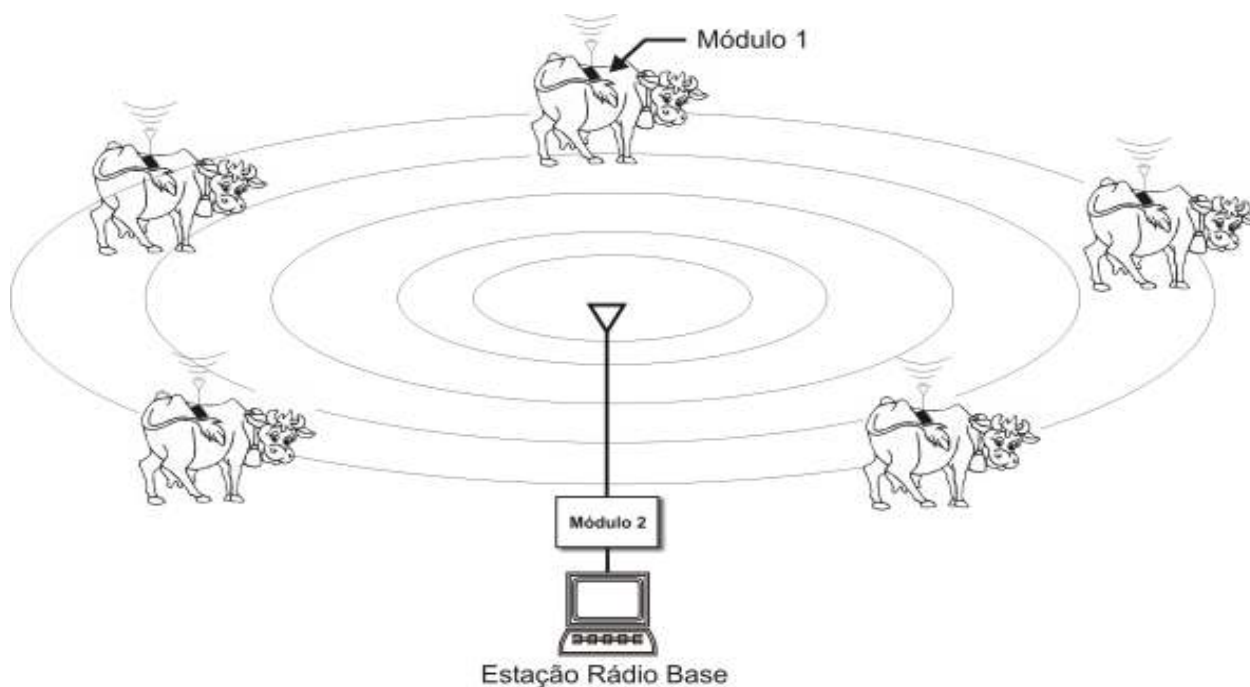
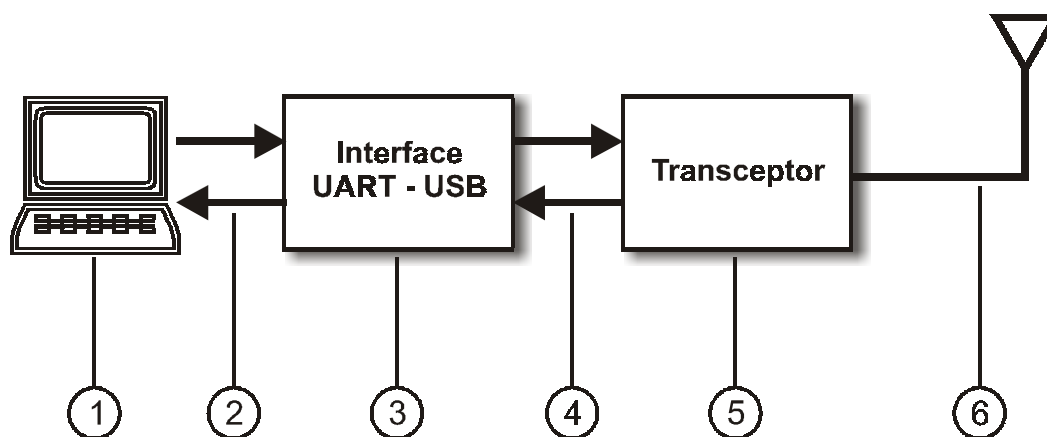


FIGURA 1. Diagrama esquemático do sistema desenvolvido.

O módulo 1 possui um transceptor BIM-2 da Radiométrix®, que opera na frequência de 433MHz e é conectado a um computador através de uma porta Universal Serial Bus (USB). O módulo 1 é capaz de receber dados de um transmissor telemétrico. A Figura 2 mostra um diagrama esquemático do módulo 1.



- 1.- Microcomputador, Notebook, HandHeld, Datalogger ou Palmtop com S.O. Windows, Windows CE ou Linux
- 2.- Barramento USB 2.0
- 3.- Interface de conversão (protocolo serial Rs232 para USB2.0)
- 4.- Comunicação serial assíncrona Rs232
- 5.- Transceptor VHF 433MHz com saída e entrada digitais
- 6.- Antena Loop, Helicoidal ou Wip

FIGURA 2: Diagrama esquemático do módulo 1.

O módulo 2 consiste de duas etapas operacionais: uma de controle do sensor de temperatura e outra de armazenamento e transmissão dos dados. Os dados coletados no módulo 2 são armazenados e periodicamente transmitidos para o módulo 1. O módulo 2 opera com

uma bateria tipo "button" CR2032 e as dimensões da placa de circuito impresso são de 25 mm x 45 mm. Incluindo o invólucro, o módulo 2 tem 15mm de altura, 30mm de largura e 50mm de comprimento. A Figura 3 mostra um diagrama esquemático do módulo 2.

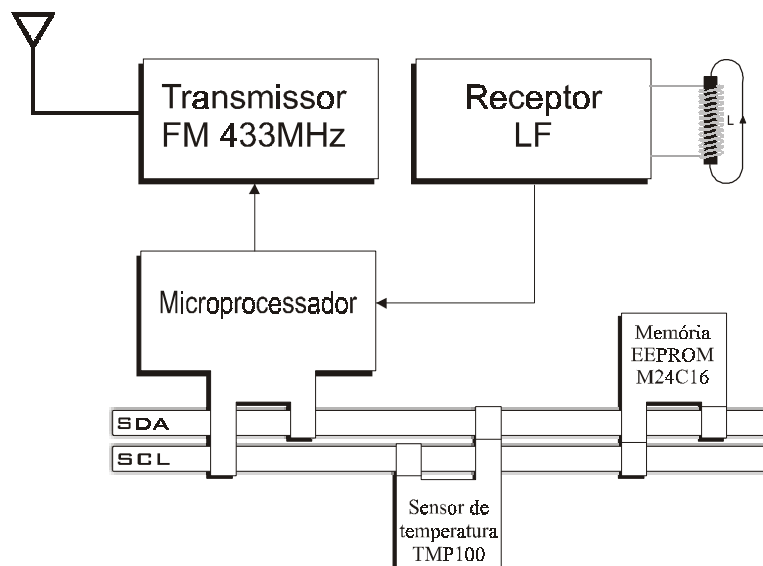


FIGURA 3: Diagrama esquemático do módulo 2.

O sensor de temperatura TMP100 fabricado pela Texas Instrumentos®, é um integrado com 1,5mm de largura por 3mm de comprimento (Figura 4), que opera na faixa de -55°C a 125°C. A comunicação entre este dispositivo e a eletrônica que o controla é

feita através de um protocolo de comunicação denominado I2C. Com uma resolução programável de 9 a 12 bits (0.5°C a 0.0625°C), encapsulamento reduzido e baixo custo, é amplamente utilizado em instrumentação.

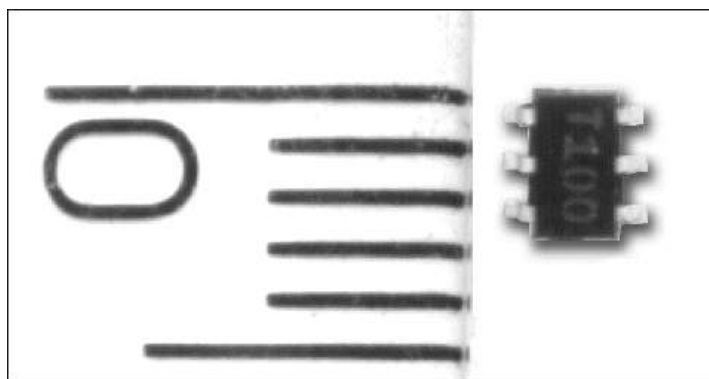


FIGURA 4: Ilustração do elemento sensor TMP100.

O acesso ao dispositivo é feito através de um endereço de 8 bits, sendo que 3 bits deste endereço são configurados fisicamente através dos pinos ADD0 e ADD1 do integrado e o oitavo bit define o tipo de acesso a ser efetuado ("0" para escrita "1" para leitura). A Figura 5

mostra a tabela de configuração dos bits e um diagrama esquemático do TMP100. O TMP100 trabalha com uma estrutura de registradores que permite acessar suas funções, conforme mostrado na Figura 6.

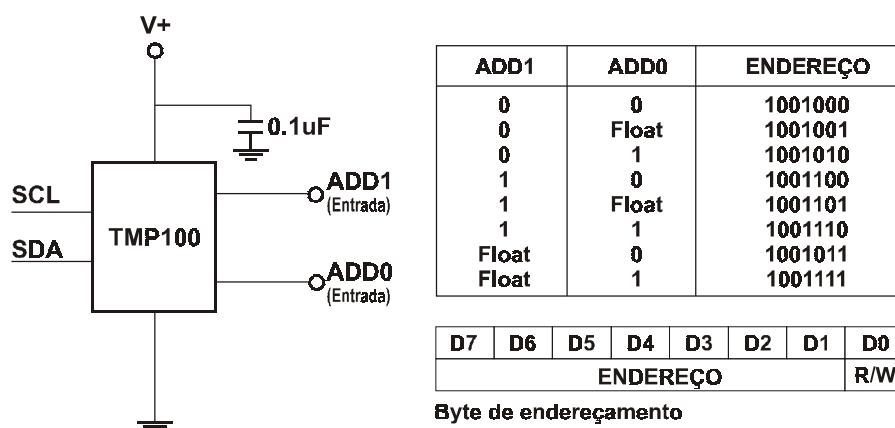


FIGURA 5: Diagrama esquemático do TMP100 mostrando os endereços de configuração.

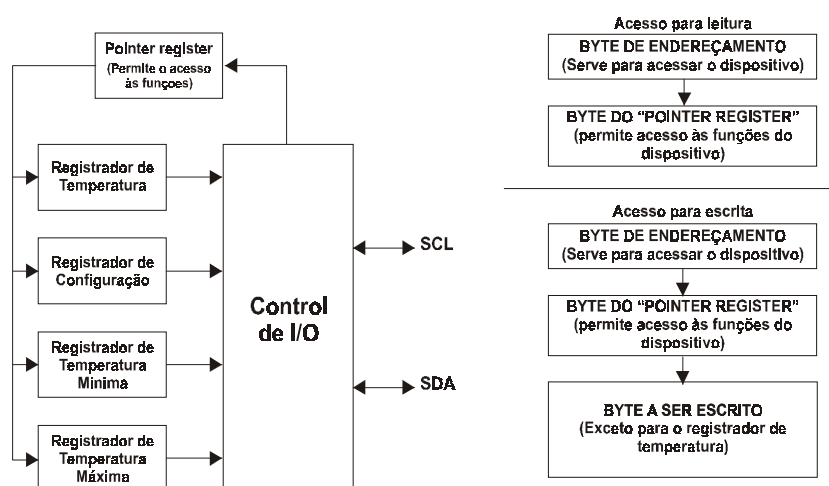


FIGURA 6: Estrutura de registradores do TMP100.

O software de coleta foi desenvolvido usando a ferramenta Borland C++ Builder e seu "front-end" é mostrado na Figura 7.



FIGURA 7: "Front-end" do programa de coleta.

Configuração da resolução e leitura da temperatura do sensor

O sensor TMP100 é automaticamente calibrado durante a sua fabricação nas diversas faixas de resolução de temperatura. Se nenhuma configuração for feita, o sensor TMP100 opera com a resolução padrão de 9 bits, mas pode ser programado para trabalhar com até 12 bits de precisão, sendo que,

nesta configuração a resolução da temperatura será de 0.0625°C. Para isto, é necessário apenas acessar o registrador de configuração e escrever o novo byte. O 6º e 7º bits de configuração correspondem à resolução do sensor e podem ser combinados conforme mostrado na Figura 8.

R1	R0	RESOLUÇÃO	TEMPO DE CONVERSÃO
0	0	9 Bits (0.5 °C)	40 ms
0	1	10 Bits (0.25°C)	80 ms
1	0	11 Bits (0.125°C)	160 ms
1	1	12 Bits (0.0625°C)	320 ms

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
OS/ALERT	R1	R0	F1	F0	POL	TM	SD

Byte de configuração

FIGURA 8: Bits de configuração da resolução do sensor.

A leitura do sensor é feita através do registrador de temperatura no TMP100 que é um registrador de 12 bits de acesso exclusivamente para leitura. Para obter a última

temperatura armazenada no registrador, devem ser lidos dois bytes. Os primeiros 12 bits correspondem à última conversão de temperatura armazenada no registrador.

Comunicação entre o TMP100 e a eletrônica de controle desenvolvida

Nos modernos sistemas eletrônicos existe a necessidade de compartilhar dados, tanto entre os circuitos integrados, quanto com o ambiente externo. Para maximizar a eficiência desses sistemas e simplificar seu projeto, a Philips desenvolveu o “Inter Integrated Communication” – I2C (VARITRONICS, 2000), um protocolo síncrono que suporta endereçamento

de dispositivos e utiliza um barramento bidirecional simples de duas linhas (Linha de clock ou SCL e linha de dados ou SDA). Isto significa que vários circuitos integrados ligados ao mesmo barramento podem se comunicar utilizando este protocolo.

O barramento I2C suporta uma ampla gama de componentes compatíveis com I2C (Figura 9).

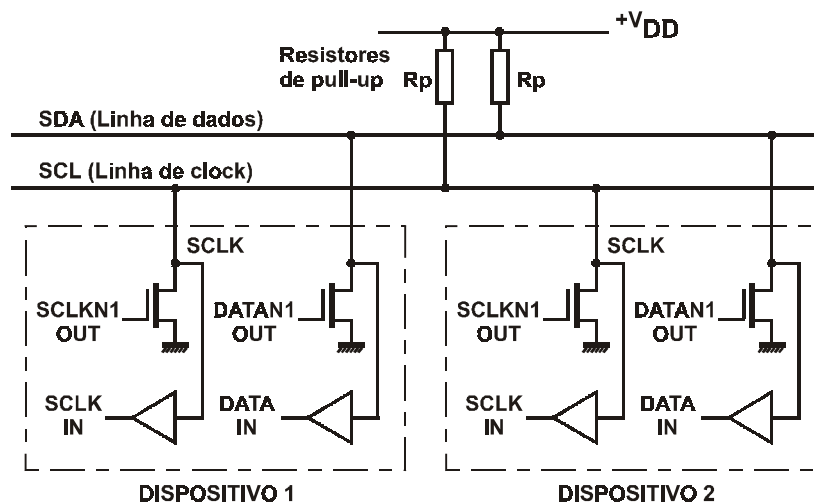


FIGURA 9: Barramento I2C com dois dispositivos conectados.

Cada dispositivo é reconhecido por um único endereço e pode receber e transmitir dados. Dependendo da sua forma de trabalho, existem dois modos de operação: O modo mestre e o modo escravo. No modo mestre, o dispositivo inicia a transferência de dados e gera o sinal de sincronismo (clock). No modo escravo, o dispositivo é endereçado e fica dependendo do sinal de *clock* enviado pelo dispositivo mestre.

No mesmo barramento, podem existir mais de um dispositivo operando como mestre (“multimastering”) enquanto o protocolo garante ausência de erros causados pela colisão de dados. O número máximo de dispositivos ligados ao barramento é limitado pela capaci-

tância máxima admitida, que é de 400 pF.

Inicialmente, o protocolo I2C suportava velocidade de até 100kbps e 7 bits de endereçamento (hoje conhecido como modo “Standard”). Atualmente suporta velocidades superiores a 400Kbps operando em modo “rápido” e velocidades superiores a 3,4 Mbps operando em modo “muito rápido”. O endereçamento também foi incrementado para 10bits a fim de aumentar o número de endereços disponíveis.

O sensor de temperatura desenvolvido usa o protocolo de comunicação I2C controlado por um microprocessador RFPIC12F675 da Microchip®. A Figura 10 mostra o esquema elétrico do módulo 2.

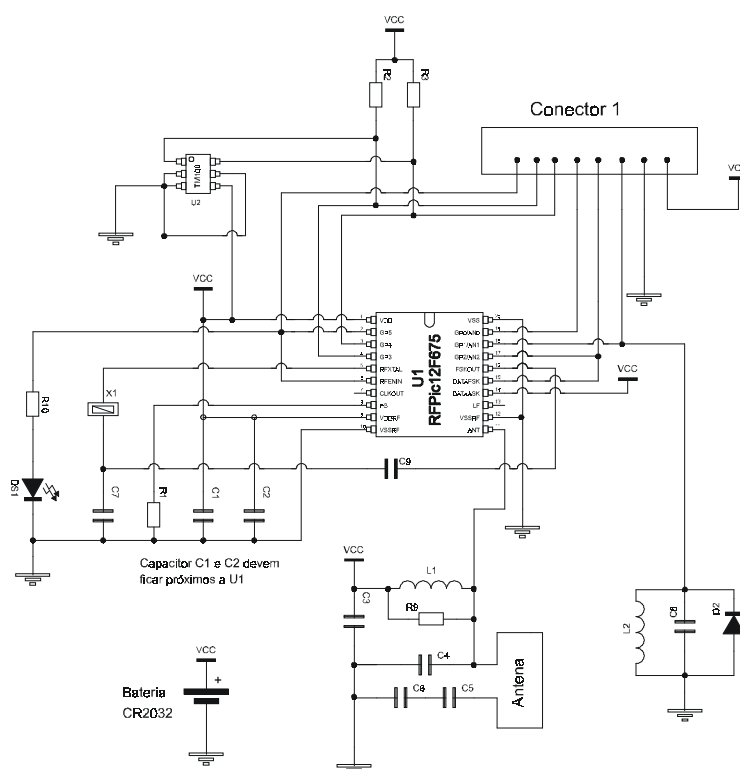


FIGURA 10: Esquema elétrico do módulo 2.

A comunicação entre o módulo 2 e o módulo 1 é realizada através de radiofrequência por um transmissor implementado também no

microprocessador RFPIC12F675, conforme mostra a Figura 10. A Figura 11 mostra a placa de circuito impresso do módulo 2.

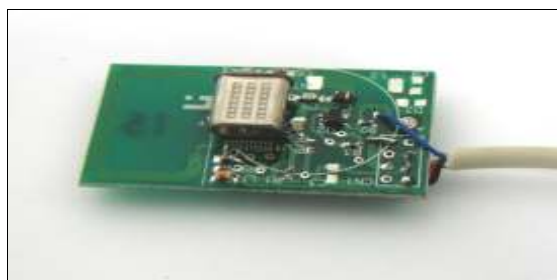


FIGURA 11: Placa de circuito impresso do módulo 2.

Experimentação Animal

O elemento sensor TMP100 foi testado durante três meses com o sensor implantado na mucosa vaginal de seis novilhas da raça holandesa. Durante a experimentação animal, foram avaliadas algumas situações de uso do equipamento, tais como, exposição às intempéries, duração do implante e estabilidade do

sensor. Somente o elemento sensor TMP100 é implantado na mucosa, sendo que a implantação foi feita no máximo três vezes em cada animal. O restante do módulo foi fixado no dorso do animal. A Figura 12 mostra o momento do implante do elemento sensor em uma das novilhas.



FIGURA 12: Ilustração do implante do elemento sensor na mucosa vaginal do bovino.

RESULTADO E DISCUSSÃO

Os animais foram alocados em um piquete experimental medindo 50 m de largura por 200 m de comprimento. O equipamento foi calibrado para fazer uma medida da temperatura a cada cinco minutos.

A Figura 13 mostra a correlação entre o sistema desenvolvido e um termômetro padrão (termômetro clínico de bulbo). O termômetro clínico de bulbo foi escolhido como padrão por ser comumente usado para coletar temperatura

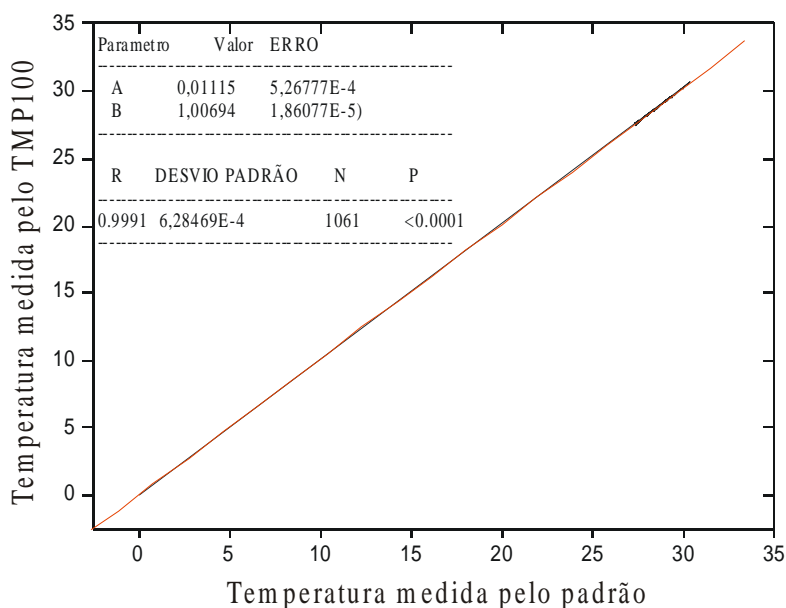


FIGURA 13: Correlação entre a temperatura medida pelo TMP100 e um termômetro padrão.

Entretanto, esta comparação é necessariamente qualitativa, uma vez que, tanto a resposta ao impulso do sensor de bulbo, ou seja, o tempo que ele demora para estabilizar, quanto o erro de leitura de sua escala, diferem do sensor TMP100. Para efeitos de comparação a precisão do sensor de bulbo é de aproximadamente $(0,1 \pm 0,05)^\circ\text{C}$ enquanto que o TMP100 tem uma precisão de $(0,0625 \pm 0,0025)^\circ\text{C}$. No entanto, na faixa de temperatura de interesse para a experimentação animal, a

correlação entre os dois sensores foi satisfatória conforme mostra a Figura 13, onde o sensor desenvolvido mediu as mesmas temperaturas que o termômetro padrão.

A Figura 14 mostra os resultados de medidas de temperatura em um dos bovinos usado para teste. No período das medidas a temperatura média do ambiente foi de $29,50^\circ\text{C}$, sendo a máxima de $34,00^\circ\text{C}$, ocorrida às 12h:00min e, a mínima de $22,00^\circ\text{C}$, ocorrida às 07h:12min.

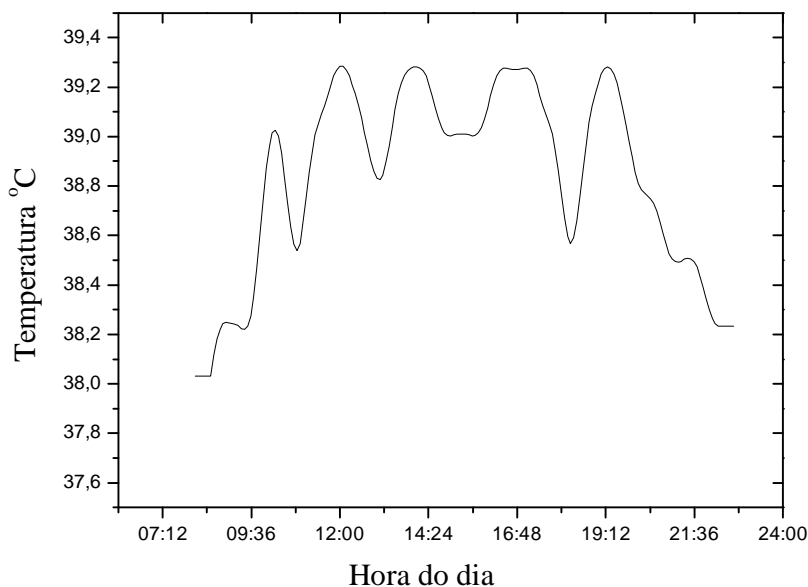


FIGURA 14: Temperatura da mucosa vaginal medida a cada 5 minutos, das 07h:15min às 22h:05min, usando o sistema desenvolvido.

Observou-se também, que o implante do sensor na mucosa vaginal durou 10 dias em média. Não foi observada nenhuma reação alérgica no local do implante o que mostra que o TMP100 foi bem tolerado pelo organismo vivo. Apesar do desconforto inicial causado pela cirurgia no local do implante, os animais não apresentaram sinais de estresse e mantiveram seu comportamento natural de alimentação e movimentação dentro do piquete experimental.

As temperaturas coletadas mostraram também ausência de febre no local de implante. A assepsia do cabo do sensor e do local do implante ajudou a prolongar o tempo de operação do sensor.

A maioria dos sensores de temperatura tipo "Data Logger" existentes no mercado não apresentam algumas facilidades importantes na experimentação animal, como, por exemplo, permitir o implante do elemento sensor em uma

determinada posição no animal. O sistema desenvolvido usa uma solução de projeto eletrônico que adapta uma tecnologia nova às condições nacionais. O TMP100 é um dispositivo usado para controlar a temperatura em microprocessadores de computadores portáteis, por isso, seu reduzido tamanho. Com o sistema eletrônico desenvolvido conseguiu-se neste projeto, adaptar o TMP100 para operar implantado dentro de um organismo vivo. Esta aplicação do TMP100 ainda não foi reportada na literatura atual, o que torna o sistema desenvolvido inédito.

CONCLUSÕES

Os resultados da experimentação animal a campo mostraram que o sistema de monitoramento de temperatura desenvolvido foi consistente com a proposta de medir

temperatura em bovinos, sem introduzir mudanças comportamentais nos animais em estudo. A temperatura medida pelo TMP100 responde corretamente quando comparado a um termômetro de bulbo padrão. O sensor se manteve estável quando submetido às intempéries e a duração do implante na mucosa vaginal foi de no máximo 10 dias.

AGRADECIMENTOS

À Prefeitura do Campus da USP de Pirassununga (PCAPS) pelo apoio à experimentação animal e à FAPESP (Proc.: 05/03136-4) pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUS, Z. Interfacing the MSP430 and TMP100 temperature sensor. *Texas Instruments Application Report*, August 2002, SLAA151 p.1-6.
- BROWN-BRANDL, T. M. Thermoregulatory responses of feeder cattle. *Journal of Thermal Biology*, Oxford, England, v. 28, p.149-157, feb. 2003.
- CARVALHO, F.A., LAMMOGLIA, M.A., SIMOES, M.J., RANDEL, R.D. Breed affects thermoregulation and epithelial morphology in imported and native cattle subjected to heat stress. *Journal of Animal Science*, Savoy, USA, v.73, p. 3570-3573, dec 1995.
- HAHN, G. L. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Animal Science Suppl. 2. v. 77/ Journal of Dairy Science Suppl 2, v. 82*, Savoy, USA, p.10-20. 1999.
- LEFCOURT, A.M., ADAMS, W.R. Radiotelemetry measurement of body temperatures of feedlot steers during summer. *Journal of Animal Science*, Savoy, USA, v. 74, p. 2633-2640, nov. 1996.
- MADER, T. L., HOLT, S.M., HAHN, G.L., DAVIS, M.S., SPIERS, D.E. Feeding strategies for managing heat load in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, Savoy, USA, v. 80, p.2373-2382, sep. 2002.
- SILVA, A.C.S., ARCE, A.C., SOUTO, S., COSTA, E.J.X. A wireless floating base sensor network for physiological response to livestock. *Computers and Electronics in Agriculture* local de publicação, v.49, n.2, p.246-254, 2005.
- SILVA, R.G. Um modelo para a determinação do equilíbrio térmico de bovinos em ambientes tropicais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa/MG, v. 29, n.4, p.1244-1252, jul./ago. 2000.
- VARITRONICS I. *The I2C-bus specification version 2.1*, Philips Semiconductors Datasheet, VI-302 LCD, jan. 2000. Disponível na Internet em: http://www.semiconductors.philips.com/acrobat_download/literature/9398/39340011.pdf Acesso em 12 de 06 de 2007.