

## CLASSIFICADOR BASEADO EM LÓGICA FUZZY PARA AVALIAÇÃO DE CONFORTO DE BOVINOS DE CORTE UTILIZANDO TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHO

RAFAEL V. DE SOUSA<sup>1</sup>, TATIANA F. CANATA<sup>2</sup> E LUCIANE S. MARTELLO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Engº Eletricista, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia de Biossistemas, FZEA/USP, Pirassununga-SP, rafael.sousa@usp.br

<sup>2</sup> Graduanda em Engenharia, Depto. de Engenharia de Biossistemas, FZEA/USP, Pirassununga-SP, tatiana.canata@usp.br

<sup>3</sup> Zootecnista, Profa. Doutora, Depto. de Engenharia de Biossistemas, FZEA/USP, Pirassununga-SP, martello@usp.br

Apresentado no  
Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2014  
14 a 17 de setembro de 2014 - São Pedro - SP, Brasil

**RESUMO:** Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um classificador baseado em Lógica Fuzzy que integra variáveis ambientais e fisiológicas de bovinos de corte para determinar o nível de conforto térmico para permitir a avaliação e controle ambiental (classificador fuzzy). Um experimento foi realizado com bovinos da raça Nelore durante oito dias durante os quais a temperatura do ar, umidade relativa, a temperatura retal e a temperatura da pele obtida com termografia de infravermelho foram medidas em diferentes períodos para permitir a construção e validação do classificador fuzzy. Estes dados foram utilizados para construir um classificador fuzzy que possui como entradas a temperatura do ar, a umidade relativa e a temperatura da pele, e como saída a estimativa da temperatura retal do animal. O classificador fuzzy é comparado com um índice de conforto térmico tradicional apresentando diversas vantagens em relação a esse índice tradicional.

**PALAVRAS-CHAVE:** zootecnia de precisão, conforto térmico, lógica Fuzzy.

### FUZZY LOGIC CLASSIFIER FOR ASSESSING BEEF CATTLE COMFORT USING INFRARED THERMOGRAPHY

**ABSTRACT:** This work aims to develop a Fuzzy Logic classifier that integrates both environmental and animal factors to determine the level of thermal comfort to allow the environmental assessment and control (fuzzy classifier). An experiment was performed with Nelore steers during eight days where air temperature, relative humidity, skin temperature and rectal temperature were taken in different periods. Those data were used to construct a fuzzy classifier that has three inputs, air temperature, relative humidity, skin temperature, and a output that predict the rectal temperature. The fuzzy classifier is evaluated in comparison with a traditional temperature-humidity index and it shows some important benefits related the traditional indexes.

**KEYWORDS:** precision livestock production, thermal comfort, fuzzy logic

**INTRODUÇÃO:** Trabalhos de pesquisa importantes têm mostrado o impacto negativo do estresse térmico sobre o bem-estar e crescimento de bovinos. A primeira resposta do animal ao estresse térmico envolve a manutenção do equilíbrio térmico, aumentando a atividade dos mecanismos para a perda de calor, enquanto, simultaneamente, reduz as suas funções

essenciais para o crescimento e a ingestão de alimentos (PADODARA e JACOB, 2013). O índice de conforto térmico em animais é determinado geralmente com base em variáveis ambientais, tais como temperatura e umidade. Também, as medidas fisiológicas de termorregulação são importantes indicadores de conforto térmico, mas esta medida é geralmente trabalhosa e dificulta o desenvolvimento e a implementação de sistemas de automação para a avaliação e controle ambiental que requerem normalmente sensores não invasivos (BROWN-BRANDL, JONES e WOLD, 2005). Uma ferramenta não invasiva que tem sido explorada é a termografia de infravermelho, a qual permite o monitoramento contínuo de perfis da temperatura de superfície corporal (TIV), e está associada a diversos tipos de variáveis importantes para a avaliação do bem-estar animal. Além disso, a TIV tem sido relacionada com os aspectos termorregulatórios (HELLEBRAND et al., 2003) e os aspectos de eficiência alimentar (MONTANHOLI et al., 2009). Para avaliação de conforto térmico, a TIV tem demonstrado capacidade para relacionar o nível de cortisol no organismo de bovinos com dados de temperatura na região do olho dos animais, devido à alteração no fluxo sanguíneo provocado nesta região como resposta às condições de estresse (TAN et al., 2009). NASCIMENTO et al. (2011) estudaram a aplicação da ferramenta TIV em conjunto com a Lógica Fuzzy, sendo realizado o monitoramento não invasivo de frangos de corte e o tratamento das informações de modo computacional. O sistema baseado em Lógica Fuzzy combina as variáveis de entrada obtidas pela TIV e as saídas geradas auxiliam na estimativa do nível de conforto térmico dos animais para controle do ambiente de produção. Outras aplicações têm explicitado as vantagens e os benefícios da Lógica Fuzzy aplicada em medidas de bem-estar dos animais criados em sistemas intensivos (PERISSINOTTO, MOURA, CRUZ, 2009) e para modelar sistemas físicos e biológicos complexos (BROWN-BRANDL, JONES e WOLD, 2005). Diante do panorama apresentado, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um classificador de conforto térmico para bovinos baseado em Lógica Fuzzy para integrar dados de variáveis obtidas com sensores não invasivos, que considere a resposta fisiológica através da TIV e da temperatura retal para determinar o nível de conforto térmico animal.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O classificador baseado em Lógica Fuzzy (CF) foi construído com as entradas a temperatura do ar (TBS - temperatura de bulbo seco), umidade relativa do ar (UR) e temperatura da pele obtida usando termografia de infravermelho (TIV). A saída do CF é uma variável estimada da temperatura retal (TRE – temperatura retal estimada). O CF utiliza como entradas duas variáveis ambientais, TBS e UR, e uma variável fisiológica do animal, TIV, para estimar o nível de conforto tendo como referência a variável fisiológica temperatura retal (TR) dos animais. Um experimento foi realizado para orientar o desenvolvimento e para a avaliação do CF com oito animais da raça Nelore com média de 18 meses de idade e 380 kg de peso vivo, pertencentes a rebanho experimental do Campus da Universidade de São Paulo em Pirassununga (FZEA-USP), alocados em baias individuais, cobertas com telhas de fibrocimento e com piso de cimento. O período refere-se aos meses de abril e maio, durante oito dias não consecutivos, sendo que as medições das imagens TIV foram obtidas com uma câmera de infravermelho modelo Ti20TM da empresa Fluke (emissividade 0,98) nos horários 7h00, 11h00, 14h00 e 16h00. Os dados do ambiente foram coletados em paralelo às variáveis fisiológicas por meio da estação meteorológica modelo 21X(L) da empresa *Campbell Scientific*, localizada a 500 m da instalação dos animais. As medições armazenadas foram utilizadas por especialista em ciência animal para orientar a composição das funções de pertinência e da base de regras do CF. As medições de TIV foram realizadas em diferentes pontos da superfície corporal do animal. Foi utilizada a correlação de Pearson para avaliar o ponto anatômico mais associado com a TR, a qual selecionou a área da frente do animal como a de maior correlação com a TR. Os níveis de conforto animal foram

definidos de acordo com estudos anteriores encontrados na literatura científica e o CF foi avaliado em comparação com um índice tradicional de temperatura e umidade (ITU) definido por NRC (1971).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** As correlações entre a TR e TIV das diferentes áreas do corpo estudadas é apresentada na TABELA 1 (correlação de Pearson). A TR apresentou alta correlação com todas as temperaturas corporais medidas pela TIV e variou entre 0,72 e 0,81, sendo que verifica-se uma correlação maior entre a TIV da região da frente com a variável fisiológica TR.

TABELA 1. Correlação entre a temperatura obtida por termografia de infravermelho e a temperatura retal.

Área da Imagem Termográfica	Temperatura Retal (valor P)
Fronte	0,79 (0,0001)
Face	0,81 (0,0001)
Olho	0,77 (0,0001)
Costela	0,78 (0,0001)
Flanco	0,73 (0,0001)

Os valores de TR foram utilizados para classificar, de acordo com a literatura, os animais nos níveis de conforto térmico em três termos conforto (alto), crítico (médio) e perigo (baixo) (SILVA, 2000). A classificação da TR serviu de base para definir os intervalos de TIV (região da frente) em níveis de conforto, conforme ilustra a TABELA 2.

TABELA 2. Classificação da temperatura de superfície em níveis de conforto térmico em função dos intervalos de temperatura retal.

Nível de Conforto	TR (°C)	TIV (°C)
Conforto	≤ 39,0	≤ 35,0
Crítico	39,1 - 39,4	35,1 - 35,4
Perigo	≥ 39,5	≥ 35,5

Os resultados de comparação dos níveis de conforto térmico dos animais entre o ITU proposto por NRC (1971) e o CF estão descritos na TABELA 3, onde são apresentadas as porcentagens de ocorrências de cada nível de conforto térmico indicados pelo ITU e CF, além das porcentagens de coincidências entre os mesmos.

TABELA 3. Comparação entre índice de temperatura e umidades (NRC, 1971) e classificador Fuzzy.

ITU \ CF	CF			Total
	Conforto	Crítico	Perigo	
Conforto	53,13%	0%	0%	53,13%
Crítico	12,5%	3,13%	0%	15,63%
Perigo	0%	23,05%	8,2%	31,25%
Total	65,63%	26,17%	8,2%	100%

Observa-se pela TABELA 3 que entre os dias avaliados, os dois índices concordaram em suas classificações quando indicam 53,13% dos dias como conforto, 3,13% dos dias como crítico e 8,2% dos dias como perigo. No entanto, o ITU classificou 12,5% dos dias como crítico, enquanto que o CF classificou estes mesmos dias como conforto. Também houve divergência

na classificação como perigo, pois o ITU classificou em 23,05% dos dias como perigo sendo que estes mesmos dias indicavam condição de crítico para o CF. De fato, o procedimento utilizado para comparar os níveis de conforto térmico evidenciados pela TR medida nos animais, durante o período experimental, e pelos níveis resultantes do CF mostram que os animais estavam alocados em um ambiente considerado favorável, pois a TR avaliada correspondeu em 91,8% do período à situação de conforto, enquanto que para crítico 7,03% e apenas 1,07% na situação de perigo. Esta classificação para TR tem como base a Tabela 2 para associar os níveis de estresse térmico com cada intervalo de temperatura retal para bovinos de corte. Nesta comparação, houve uma concordância de 69,54% dos dias para os níveis considerados pelo ITU e CF. Assim a classificação pela TR quando comparada com as classificações obtidas pelo ITU e pelo CF mostram uma concordância maior entre as classificações do CF e da TR para estimar os níveis de conforto térmico para os bovinos.

**CONCLUSÕES:** Foi desenvolvido e avaliado um classificador de conforto térmico para bovinos baseado em Lógica Fuzzy que integra dados de variáveis obtidas com sensores não invasivos para estimar a resposta fisiológica de temperatura retal e determinar o nível de conforto térmico dos animais. O classificador Fuzzy foi eficiente em estimar a temperatura retal do animal e também para estimar o nível de conforto térmico em relação ao índice tradicional utilizado. Os valores de temperaturas retais medidas no mesmo período reforçam esta conclusão na medida em que a estimativa do nível de conforto baseado nessa medida apresenta maior concordância com o nível de conforto estimado pelo classificador Fuzzy. Outra vantagem importante em utilizar o CF é a possibilidade de utilizar a variável fisiológica não invasiva para estimar o nível de conforto térmico e, dessa forma, simplificar a aquisição de dados e a implantação de sistema automático para controle do ambiente.

**AGRADECIMENTOS:** À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de iniciação científica concedida.

## REFERÊNCIAS

- BROWN-BRANDL, T. M.; JONES, D.D.; WOLD, W.E.; Evaluating modelling techniques for cattle heat stress prediction. **Biosystems Engineering**, v. 91, n. 4, p. 513–524, 2005.
- HELLEBRAND, H. J.; et al.; Application of thermal imaging for cattle management. **In: Proc. 1st European Conference on Precision Livestock Farming**, Berlin, Germany. p. 761-763, 2003.
- MONTANHOLI, Y.R.; et al.; On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. **Livestock Science**, p. 22-30, 2009.
- NASCIMENTO, G. R.; et al.; Índice Fuzzy de conforto térmico para frangos de Corte. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v. 31, n. 2, p. 219-229, 2011.
- NRC (National Research Council). A guide to environmental research on animals. **National Academy of Science**. Washington, DC, USA. 1971.
- PADODARA, R. J.; JACOB, N.; Climate Change: effect on growth of animals. **Journal of Agricultural Science**, v. 2, n. 4, p. 85-90, 2013.
- PERISSINOTTO, M.; MOURA, D. J.; CRUZ, V. F.; Conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em clima subtropical e mediterrâneo pela análise de parâmetros fisiológicos utilizando a teoria dos conjuntos Fuzzy. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1492-1498, 2009.
- SILVA, R.G. **Introdução à bioclimatologia animal**. São Paulo: Nobel, 286 p., 2000.
- TAN, J. H.; et al.; Infrared thermography on ocular surface temperature: A review. **Infrared Physics & Technology**, v. 52, p. 97–108, 2009.