

# RESSALVA

Atendendo solicitação do autor ,  
o texto completo desta tese será  
disponibilizado somente a partir de  
06/08/2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA  
CAMPUS DE BOTUCATU

TERMOGRAFIA INFRAVERMELHO E MEDIDAS DE  
EFICIÊNCIA DE BUBALINOS DE TRÊS GRUPOS GENÉTICOS SOB  
CONDIÇÕES TROPICAIS

DAIANE CRISTINA MARQUES DA SILVA

Tese apresentada ao Programa de Pós-  
graduação em Zootecnia – Área de  
Concentração: Nutrição e Produção  
Animal como parte das exigências  
para obtenção do título de Doutora.

BOTUCATU – SP  
Agosto – 2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA  
CAMPUS DE BOTUCATU

TERMOGRAFIA INFRAVERMELHO E MEDIDAS DE  
EFICIÊNCIA DE BUBALINOS DE TRÊS GRUPOS GENÉTICOS SOB  
CONDIÇÕES TROPICAIS

DAIANE CRISTINA MARQUES DA SILVA

Zootecnista

Orientador: Prof. Associado III André Mendes Jorge

Coorientadores: Dr<sup>a</sup>. Caroline de Lima Francisco

Dr. André Michel de Castilhos

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia – Área de Concentração: Nutrição e Produção Animal como parte das exigências para obtenção do título de Doutora.

BOTUCATU - SP  
Agosto – 2019

S586t

Silva, Daiane Cristina Marques da

Termografia infravermelho e medidas de eficiência de bubalinos de três grupos genéticos sob condições tropicais / Daiane Cristina Marques da Silva. -- Botucatu, 2019

82 f. : tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu

Orientador: André Mendes Jorge

Coorientador: Caroline de Lima Francisco André Michel de Castilhos

1. Búfalos. 2. Confinamento. 3. Consumo Alimentar Residual. 4.

~~Eficiência Alimentar. 5. Termografia Infravermelho. I. Título.~~

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

### **Biografia da autora**

Daiane Cristina Marques da Silva nasceu em 09 de agosto de 1989 na cidade de Araraquara – SP, filha de Antonio Vicente Marques da Silva e Rosimeire Aparecida de Oliveira Marques da Silva. Graduou-se em Zootecnia pela Faculdade de Engenharia de Alimentos e Zootecnia de São Paulo – USP em 2012. Obteve o título de Mestre em Zootecnia pelo Programa de Pós-Graduação em Zootecnia na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP em 2015, onde foi bolsista pelo Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, ingressando no Doutorado em Zootecnia em 2016 na mesma instituição, onde foi bolsista pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), sob orientação do Prof. Dr. Associado André Mendes Jorge e co-orientação da Dr<sup>a</sup>. Caroline de Lima Francisco e Dr. André Michel de Castilhos.

# Dedico

À Deus pelas bençãos concedidas, por me guiar, proteger e fazer seguir em frente.

À minha família, minha mãe Rosimeire, meu pai Antonio e meus irmãos Daniele e Danilo, pela educação, exemplo, apoio e amor incondicional em toda minha trajetória de vida.

Sem seus incentivos eu não poderia enfrentar esses desafios.

Aos meus avós Maria Aparecida e Valdemar, presentes sempre em minha vida, cuidando e me dedicando muito amor e carinho.

As minhas tias Maria do Carmo e Sol.

Ao meu amor Hugo.

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus por permitir que eu alcançasse mais essa etapa em minha trajetória.

À minha família pelo imensurável amor e apoio que, mesmo a distância não impede vocês de estarem sempre junto a mim. Todas minhas conquistas foram possíveis com o apoio e dedicação que nunca me faltou. A Família Buscapé é um dos meus maiores bens. Sou grata a Deus todos os dias, por ter colocado vocês em meu caminho, guiando meus passos e sempre me empurrando para frente. Obrigada Sol, pelo carinho e paciência, em muitas noites passadas em claro, estudando para que fosse possível estar onde estou hoje.

Ao Prof. Dr. André Mendes Jorge. Sem o senhor nada disso seria possível. Obrigada por acreditar em mim e permitir que eu fizesse parte deste maravilhoso grupo de pesquisa. Agradeço a amizade, conselhos e exemplo profissional.

Ao Professor Dr. Paulo Roberto de Lima Meirelles pelas conversas, ensinamentos e apoio incondicional;

Ao Grupo de Pesquisa Unesp Botucatu Búfalos, pelo apoio, força, e por permitir que eu fizesse parte de algo tão grande. Aos meus co-orientadores de pesquisa e de vida, Caroline e Michel, sou grata pela paciência, orientações e conselhos.

Aos funcionários do setor de Bubalinocultura Arivaldo Inácio Primo Júnior (Dinho), Wilson Bueno de Oliveira (Lipe) e Amarildo dos Santos Vieira (Liu) e aos demais funcionários da FMVZ por todo tipo de informação e experiência de vida concedida;

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Estado de São Paulo – FAPESP pelo auxílio financeiro, processo 2014/05473-7, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo auxílio financeiro (processo 141917/2016-4).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Às minhas amigas Brunna, Giovanna, Rafaela e Bruna. Grupo esse que só tem aumentado com a chegada do Benício e Laura.

Agradeço a República Saia de Baixo, por permitirem que eu fizesse parte desta família, obrigada pela amizade e imensas risadas.

## SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO 1.....	1
CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	2
1. Introdução .....	2
2. Panorama da bubalinocultura .....	3
3. Particularidades dos bubalinos .....	4
3.1. Calor metabólico .....	8
3.2. Consumo alimentar e medidas de eficiência.....	11
3.2.1. Características do consumo alimentar dos bubalinos .....	11
3.2.2. Consumo alimentar residual .....	13
3.2.3. Ganho residual .....	16
3.2.4. Consumo e ganho residual .....	17
4. Termografia infravermelho.....	18
4.1. Termografia infravermelho e eficiência alimentar.....	23
5. Objetivos gerais .....	27
6. Referências Bibliográficas.....	27
 CAPÍTULO 2.....	 36
Termografia infravermelho e medidas de eficiência de bubalinos de três grupos genéticos sob condições tropicais.....	37
Resumo .....	38
Abstract.....	41
Introdução .....	43
Material e Métodos .....	44
Instalações, animais utilizados e período experimental.....	45
Dieta e manejo alimentar .....	46
Medidas de eficiência .....	47
Ultrassonografia.....	48
Termografia infravermelha.....	49
Delineamento e análise estatística .....	50



Resultados e Discussão.....	52
Conclusão .....	64
Referências Bibliográficas.....	65
CAPÍTULO 3.....	81
Implicações .....	82

## LISTA DE ABREVIATURAS

- AOAC** – *Association of Official Analytical Chemists*
- CAR** – Consumo alimentar residual
- CEUA** – Câmara de Ética de Uso de Animais
- CGR** – Consumo e ganho residual
- CMS** – Consumo de matéria seca
- CPTB** – Centro de Pesquisas Tropicais em Bubalinos
- DP** – Desvio-padrão
- EE** – Extrato etéreo
- EPM** – Erro padrão da média
- FDA** – Fibra em detergente ácido
- FDN** – Fibra em detergente neutro
- FDN<sub>cp</sub>** – Fibra em detergente neutro corrigido para cinzas e proteínas
- FMVZ** – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia
- GMD** – Ganho médio diário
- GR** – Ganho residual
- IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IC** – Incremento calórico
- MS** – Matéria seca
- MM** – Matéria mineral
- NRC** – Nutrient requirements of beef cattle
- PB** – Proteína bruta
- PV<sup>0,75</sup>** – Peso vivo metabólico
- RFID** – Radio Frequency Identification
- SAS** - *Statistical Analysis System*
- UNESP** – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

**LISTA DE TABELAS**

- Tabela 1.** Composição percentual dos ingredientes e características nutricionais da dieta..  
..... 72
- Tabela 2.** Estatística descritiva das características de desempenho e medidas termográficas de três grupos genéticos de bubalinos confinados... 73
- Tabela 3.** Média, erro padrão da média (EPM) e probabilidades do consumo alimentar residual (CAR), ganho residual (GR), consumo ganho residual (CGR) de acordo com a classe (alto ou baixo) e com o grupo genético (GG) de bubalinos confinados ..... 74
- Tabela 4.** Média, erro padrão da média (EPM) e probabilidades das características de desempenho de acordo com os três grupos genéticos (GG) de bubalinos confinados. .... 75
- Tabela 5.** Média, erro padrão da média (EPM) e probabilidades das características de desempenho de acordo com a classe (alto ou baixo) do consumo alimentar residual (CAR), ganho residual (GR), consumo ganho residual (CGR) de bubalinos confinados.....76
- Tabela 6.** Coeficientes de Pearson entre as variáveis termográficas , temperatura retal e medidas de eficiência de três grupos genéticos de bubalinos confinados. .... 77
- Tabela 7.** Média, erro padrão da média (EPM) e probabilidades das medidas termográficas de acordo com o grupo genético (GG) e a classe (alto ou baixo) do consumo alimentar residual (CAR), ganho residual (GR), consumo ganho residual (CGR) de bubalinos confinados..... 78
- Tabela 8.** Média, erro padrão da média (EPM) e probabilidades das medidas termográficas de acordo com os três grupos genéticos (GG) de bubalinos confinados. .... 79

**Tabela 9.** Média, erro padrão da média (EPM) e probabilidades das medidas termográficas de acordo com a classe (alto ou baixo) do consumo alimentar residual (CAR), ganho residual (GR), consumo ganho residual (CGR) de bubalinos confinados.....80

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Análise das imagens termográficas das regiões da face (A), peito (B), patas dianteiras (C), costelas (D) e escroto (D) de bubalinos confinados sob condições tropicais. .....	50
---	----

## CONSIDERAÇÕES INICIAIS

### 1. Introdução

O consumo de carne aumentará dois terços até o ano de 2050, especialmente nos países desenvolvidos. O aumento das exigências globais e a constante demanda garante ao setor da pecuária, participação ativa. Para que os bubalinos possam fornecer produtos em quantidade e qualidade, esse sistema precisa ser além de apenas uma produção estratégica, alternativa e subvalorizada (El DEBAKY et al, 2019).

A criação de bubalinos apresenta grande potencial econômico e crescentes números produtivos em regiões adversas onde alguns ruminantes não possuem capacidade máxima de produção (JORGE; ANDRIGUETTO, 2005), tornando-se uma forte opção econômica para pecuaristas que procuram maximizar suas produções (JORGE; FRANCISCO, 2011).

A produção de leite foi o objetivo inicial da produção animal, entretando, com o aumento da demanda por carne, os bubalinos começaram a apresentar seus altos índices produtivos, o que por sua vez trouxe foco a novas pesquisas (DEB et al., 2016).

Atualmente há um número significativo de rebanhos distribuídos em diferentes regiões do Brasil, mostrando que essa atividade possui características relevantes para a cadeia produtiva, abrindo campo para novas pesquisas que visam o crescimento da bubalinocultura do país (JORGE; FRANCISCO, 2011; IBGE 2017).

O desenvolvimento de um sistema produtivo depende do desempenho animal, sendo esse influenciado por fatores como oferta, qualidade da dieta disponível, consumo voluntário, digestibilidade e exigências nutricionais. Dessa forma, a nutrição se apresenta como um dos principais aspectos que influenciam o processo de crescimento e desenvolvimento animal (OWENS et al., 1993).

A permanência desse mercado perante aos mais diversos sistemas de produção hoje existentes, se faz com a interação desses fatores atrelados a resposta animal, possibilitando a seleção animal por meio de tecnologias alternativas que visam crescentes índices produtivos com redução de tempo e custo.

A utilização de novas técnicas que permitam identificar animais com menor relação de consumo e ganho, permitirá aumentar a rentabilidade dos sistemas. Assim, a seleção de animais mais eficientes é indispensável quando se espera maior produção em curto prazo.

As metodologias de predição da eficiência alimentar encontradas na literatura consideram a mensuração do consumo alimentar diário, entretanto, a determinação da ingestão individual é onerosa e demanda tempo. Assim, a procura por métodos de avaliações indiretas (não invasivas) torna-se fundamental aos pesquisadores e aos produtores, que visam à obtenção de resultados de forma rápida e precisa, com redução do custo e otimização do sistema produtivo.

A termografia infravermelho se apresenta como um método de análise alternativo que beneficia as tomadas de decisões dentro dos sistemas de produção, sendo essa uma técnica não invasiva, que garante prevenir respostas ansiogênicas perante a coleta de dados.

## **2. Panorama da bubalinocultura**

O efetivo mundial de bubalinos é de aproximadamente 201 milhões de animais, sendo os países asiáticos, Índia, Paquistão e China os detentores dos maiores rebanhos (113,4; 36,9 e 24 milhões, respectivamente) (ABIEC, 2018).

O rebanho bubalino presente no Brasil é de aproximadamente 1,38 milhão de bubalinos (IBGE, 2017), no qual a região Norte abrange maior porcentagem desses

respectivas interações com as medidas de eficiência alimentar, são de extrema importância, uma vez que os locais do corpo diferem quanto a dissipação de calor.

As pesquisas quanto a eficiência alimentar em bubalinos são raras, assim como as possíveis correlações existentes com medidas termográficas, tornando-se necessário a realização de estudos que permitam comprovar os resultados de predição da eficiência alimentar por meio da termografia infravermelho, e qual seria o melhor local anatômico de análise em bubalinos.

## 5. Objetivos gerais

Objetivou-se com este estudo correlacionar a análise de imagens de termografia infravermelho com medidas de eficiência alimentar animal, sendo essas determinadas por meio do consumo alimentar residual (CAR), ganho residual (GR) e pelo consumo ganho residual (CGR), e suas interações com medidas de desempenho em bubalinos confinados de diferentes grupos genéticos.

O Capítulo 2, intitulado **Termografia infravermelho e medidas de eficiência de bubalinos de três grupos genéticos sob condições tropicais** foi redigido de acordo com as normas para a publicação no periódico *Journal of Animal Science*. Hipotetiza-se que bubalinos com menores temperaturas térmicas nas determinadas regiões anatômicas (olhos, face, peito, pata, costelas e traseiro) sejam classificados como mais eficientes segundo cada critério de eficiência estudada (CAR, GR e CGR).

## 6. Referências Bibliográficas

ABCB – Associação Brasileira de Criadores de Búfalos. Disponível em: <<http://www.bufalo.com.br/noticias.html>>. Acesso em: 5 Janeiro. 2019.

ABIEC – Associação Brasileira de Importação e Exportação de Carne. **Perfil da Pecuária no Brasil. Relatório Anual**, 2018.

ALLEN, M. S. Drives and limits to feed intake in ruminants. **Animal Production**



**Science**, v. 54, n.10, p. 1513-1524, 2014.

ALSAAOD, M.; SYRING, C.; DIETRICH, J., et al. A field trial of infrared thermography as a non-invasive diagnostic tool for early detection of digital dermatitis in dairy cows. **The Veterinary Journal**, v. 199, n. 2, p. 281-285, 2014.

ARCHER, J. A.; RICHARDSON, E. C.; HERD, R. M.; ARHTUR, P. F. Potential for selection to improve efficiency of feed use in beef cattle: a review. **Australian Journal of Agricultural**, v. 50, n. 2, p. 147-161, 1999.

ARTHUR, J. P. F.; HERD, R. M. Residual feed intake in beef cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 269-279, 2008.

BARBOSA NETO, J., E BASTIANETTO, E. Diferenças fisiológicas entre bubalinos e bovinos: interferência na produção. **Ciência Animal Brasileira**, 1. Recuperado de <https://www.revistas.ufg.br/vet/article/view/7664>, 2009.

BARROS, D. V.; SILVA, L. K. X.; KAHWAGE, P. R.; et al. Assessment of surface temperatures of buffalo bulls (*Bubalus bubalis*) raised under tropical conditions using infrared thermography. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 68, n. 2, p. 422-430, 2016.

BASTOS, G. P.; CHACUR, M. G. M.; VIVIAN, D. S.; et al. Temperaturas da superfície da glândula mamária em vacas da raça Holandesa negativas ao *California Mastitis Test* (CMT). In: Congresso Brasileiro de Reprodução Animal. **Anais**, v.21, p.51, 2015.

BATISTA, J. N.; BORGES, L. D.; LIMA, L. A.; et al. Termorregulação em ruminantes. **Agropecuária Científica no Semiárido**. v. 11, n. 2, p. 39-46, 2015.

BEATON, W. G. The husbandry and health of the domestic buffalo. **Tropical Animal Health and Production**, v. 7, n. 1, p. 40, 1975.

BERRY, D. P.; CROWLEY, J. J. Residual intake and body weight gain: A new measure of efficiency in growing cattle. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 1, p. 109-115, 2012.

BERRY, D. P.; CROWLEY, J. J. Cell Biology Symposium: Genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.91, n.4, p.1594-1613, 2013.

BLAXTER K. L. The energy metabolism of ruminants. **Hutchinson Scientific and Technical**, London, UK, 1962.

BOLÍVAR, D. M.; CERÓN-MUÑOZ, M. F.; BARAHONA-ROSALES, R. Feed efficiency traits and productive performance in fifteen-month old buffaloes (*Bubalus bubalis*) from a dual-purpose system. **Livestock Research for Rural Development**, v. 26, n. 7, 2014.

BOSE, B. K. S.; KUNDU, S. S.; THO, N. T. B.; SHARMA, V. K.; SONTAKKE, U. B. Residual feed intake as a feed efficiency selection tool and its relationship with feed intake, performance and nutrient utilization in Murrah buffalo calves. **Tropical Animal Health and Production**, v. 46, n. 4, p. 615-621, 2014.

BRO-JØRGENSEN, J. Evolution of the ungulate dewlap: thermoregulation rather than sexual selection or predator deterrence. **Frontiers in Zoology**. v. 13, n. 1, p. 1-7, 2016.

CARDOSO, C.; LIMA, F.; FIORAVANTI, M.; et al. Heat Tolerance in Curraleiro Pedreiro, Pantaneiro and Nelore Cattle Using Thermographic Images. **Animals**. v. 6, n. 2, p. 1-11, 2016.

CHACUR, M. G. M. Termografia por infravermelho na reprodução de bubalinos. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v. 41, n. 1, p. 180-187, 2017.

CHAVES, A. S.; NASCIMENTO, M. L.; TULLIO, R. R. et al. Relationship of residual feed intake with heart rate and heat production in Nelore steers. **Journal of Animal Science**, v. 93, n. 10, p. 18-19, 2013.

CHURCH, J. S.; HEGADOREN, P. R.; PAETKAU, M. J. et al. Influence of environmental factors on infrared eye temperature measurements in cattle. **Research in Veterinary Science**. v. 96, n.1, p. 220-226, 2014.

COLLIER, R. J.; GEBREMEDHIN, K. G. Thermal biology of domestic animals. **Annual Review of Animal Biosciences**, v. 3, n. 1, p. 513-532, 2015.

CONTE, G.; CIAMPOLINI, R.; CASSANDRO, M.; et al. Feeding and nutrition management of heat-stressed dairy ruminants. **Italian Journal of Animal Science**, v. 17, n. 3, p. 604-620, 2018.

COSTA, L. N. Infrared thermography for detection pre-slaughter stress and impaired meat quality, *in*: **Thermography. Current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine**, p. 183-190, 2013.

COSTA, C. C. M.; MAIA, A. S. C.; NASCIMENTO, S. T.; NASCIMENTO, C. C. N. et al. Thermal balance of Nelore cattle. **International Journal of Biometeorology** v. 62, n. 5, p. 723-731, 2018.

CRUZ-CRUZ, L. A.; GUERRERO-LEGARRETA, I.; RAMIREZ-NECOECHEA, R.; et al. The behavior and productivity of water buffalo in different breeding systems: a review. **Veterinari Medicina**, v. 59, n. 4, p. 181-193, 2014.

DALL’CORTIVO, P.; DIAS, E.; SILVA, I. C. M.; et al. Automatic determination of horn fly (*Haematobia irritans*) infestation in livestock using infrared images. **Brazilian Society of Animal Science**, v. 51, 2014.

DALTRO, D. DOS S.; FISCHER, V.; ALFONZO, E. P. M.; et al. Infrared thermography as a method for evaluating the heat tolerance in dairy cows. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, n. 5, p. 374-383, 2017.

DAMASCENO, F. A.; VIANA, J. M.; TINÔCO, I. D. F. F.; et al. Adaptação de Bubalinos ao Ambiente Tropical. **Revista Eletrônica Nutritime**, v.7, n. 5, p. 1370-1381, 2010.

DEB, G. K., NAHAR, T. N.; DURAN, P. G. Safe and sustainable traditional production: The water buffalo in Asia. **Frontiers Environmental Science**. v. 4, n. 38, p. 1-7, 2016.

DEBBARMA, D.; UPPAL, V.; BANSAL, N., GUPTA, A. Histomorphometrical Study on Regional Variation in Distribution of Sweat Glands in Buffalo Skin. **Dermatology Research and Practice**, p. 1–7, 2018.

DIGIACOMO, K. MARETT, L. C., WALES, W. J., et al. Thermoregulatory differences in lactating dairy cattle classed as efficient or inefficient based on residual feed intake. **Animal Production Science**, v. 54, n. 10, p. 1877-1881, 2014.

DUNBAR, M. R.; JOHNSON, S. R.; RHYAN, J. C.; et al. Use of Infrared Thermography to Detect Thermographic Changes in Mule Deer (*Odocoileus hemionus*) Experimentally Infected with Foot-and-Mouth Disease. **Journal of Zoo and Wildlife Medicine**. v. 40, n. 2, p. 296–301, 2009

EL DEBAKY, H. A.; KUTCHY, N. A.; UL-HUSNA, A.; INDRIASTUTI, R.; AKHTER, S.; PURWANTARA, B.; MEMILI, E. Review: Potential of water buffalo in world agriculture: Challenges and opportunities. **Applied Animal Science**, v. 35, n. 2, p. 255–268, 2019.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016.

FAVERO, R.; GOMES, R. C.; MIZUBUTI, I. Y.; et al. Implicações da seleção pelo consumo e ganho residual no desempenho e características de carcaça de bovinos da raça Brahman. **Anais. BeefExpo**, p. 39-45, 2015.

FERRELL, C. L. E JENKINS, T. G. Cow type and the nutritional environment: Nutritional aspects. **Journal of Animal Science**, v. 61, n. 3, p. 725–741, 1985.

FITZSIMONS, C., MCGEE M., KEOGH, K., et al. Molecular physiology of feed efficiency in beef cattle. In *Biology of domestic animals* (ed. CG Scanes and RA Hill), pp. 120–163, 2017.

GARCIA, A. R. Conforto térmico na reprodução de bubalinos criados em condições tropicais. **Pesquisa Brasileira de Reprodução Animal**. v. 37, n. 2, p. 121-130, 2013.

GEORGE, W. D.; GODFREY, R. W.; KETRING, R. C.; et al. Relationship among eye and muzzle temperatures measured using digital infrared thermal imaging and vaginal and rectal temperatures in hair sheep and cattle. **Journal of Animal Science**, v. 92, p. 4949-4955, 2014.

GLOSTER, J.; EBERT, K.; GUBBINS, S.; et al. Normal variation in thermal radiated temperature in cattle: implications for foot-and-mouth disease detection. **BMC Veterinary Research** v. 7, n. 73, p. 1-10, 2011.

GUIMARÃES, A. L.; MERCADANTE, M. E. Z.; CANESIN, R. C.; et al. Phenotypic association between feed efficiency and feeding behavior, growth and carcass traits in Senepol cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, n. 1, p. 47-55, 2017.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 27/06/2018.

JORGE, A. M.; ANDRIGHETTO, C. Características de Carcaça de Bubalinos. **Anais do Zootec. Campo Grande - MS**, 2005.

JORGE, A. M.; FRANCISCO, C. L. Cadeia Produtiva da Carne de Búfalo – Visão da Universidade. **II Simpósio da Cadeia Produtiva da Bubalinocultura**, 2011.

JOSET, W. C. L.; RODRIGUES DA SILVA, J. A.; GODINHO, L. A. et al. Thermoregulatory responses of female buffaloes reared under direct sunlight and shaded areas in the dry season on Marajó Island, Brazil. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 40, n.1, p. 1-6, 2018.

KELLY, A. K., MCGEE M., CREWS, D. H., et al. Effect of divergence in residual feed intake on feeding behavior, blood metabolic variables, and body composition traits in growing beef heifers. **Journal of Animal Science** v. 88, p. 109-123, 2010.

KENNEDY, B.W., VANDER WERF, J.H.J. AND MEUWISSEN, T.H.E. Genetic and statistical properties of residual feed intake. **Journal of Animal Science**. v. 71, n. 12, p. 3239-3250, 1993.

KLEIBER, M. **The fire of life: an introduction to animal energetics**. New York: John Wiley & Sons. p. 454, 1961.

KOCH, R. M.; SWIGER, L.A.; CHAMBERS, D. et al. Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.22, n.2, p.486-494, 1963.

KOURY FILHO, W.; ALBUQUERQUE, L.G. de; FORNI, S.; SILVA, J.A.I. de V.; YOKOO, M.J.; ALENCAR, M.M. de. Estimativas de parâmetros genéticos para os escores visuais e suas associações com peso corporal em bovinos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.5, p.1015-1022, 2010.

KOZLOSKI, G. M. **Bioquímica dos Ruminantes: metabolismo dos carboidratos e produção dos ácidos graxos voláteis**. 3ª ed, 2017.

LOWE, G. L.; SCHAEFER, A. L.; WAAS, J. R.; et al. Brief communication: The use of infrared thermography and feeding behaviour for early disease detection In: New Zealand dairy calves. **Proceedings N.Z. Society Animal Production**, p. 177-179, 2016.

LUDWIG, N. Thermal imaging in biological applications. In: **Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine**. p. 27-40, 2013.

MACHADO, E.; YOSHIMURA, E. H.; SANTOS, N. W.; et al. Nitrogen metabolism, digestive parameters, and protein requirements for the maintenance of buffalo growth. **Tropical Animal Health and Production**, v. 48, n. 2, p. 361-366, 2015.

MARQUES DA SILVA, D. C.; FRANCISCO, C. L.; CASTILHO, A. M.; et al. Use of infrared thermography to evaluate the residual feed intake in water buffaloes. **Journal of Animal Science**, supl. Supplement 4, v. 95, pag. 72, 2017.

MARTELLO, L. S.; LUZ E SILVA, S.; COSTA GOMES, R.; et al. Infrared thermography as a tool to evaluate body surface temperature and its relationship with feed efficiency in *Bos indicus* cattle in tropical conditions. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, n. 1, p. 173-181, 2016.

MARTINS, R.F.S.; PAIM, T.P.; CARDOSO, C.A.; et al. Mastitis detection in sheep by infrared thermography. **Research Veterinary Science**. v. 94, n.3, p. 722-724, 2013.

MCDOWELL, R.E., HOOVEN, N.W., CAMOENS, J.K. Effects of climate on performance of Holsteins in first lactation. **Journal of Dairy Science** v. 59, n. 5, p. 965-973, 1976.

MCCAFFERTY, D. J. Applications of thermal imaging in avian science. **Ibis**, v. 155, n. 1, p. 4-15, 2012.

MCCOARD, S. A.; HENDERSON, H.V.; KNOL, F. W. et al. Infrared thermal imaging as a method to study thermogenesis in the neonatal lamb. **Animal Production Science**, v. 54, n. 9, p. 1497-1501, 2014.

MCMANUS, C.; TANURE, C. B.; PERIPOLLI, V.; et al. Infrared thermography in animal production: An overview. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 123, p. 10-16, 2016.

MEDEIROS, D. R.; ALBERTINI, T. Z. Partição de energia e sua determinação na nutrição de bovinos de corte, **Nutrição de Ruminantes**. cap. 2. p. 19-26, 2015.

MENDES, E. D. M.; CAMPOS, M. M. Eficiência alimentar em bovino de corte. **Informe Agropecuário**. v. 37, n. 292, p. 28-38, 2016.

MENEGASSI, S.R.O.; BARCELLOS, J.O.J.; DIAS, E.A.; et al. Scrotal infrared digital thermography as a predictor of seasonal effects on sperm traits in Braford bulls. **International Journal of Biometeorology** v. 59, n. 3, p. 357-364, 2015.

MONTANHOLI, Y. R.; SWANSON, K. C.; MILLER, S. P.; et al. Relationships between residual feed intake and infrared thermography and glucocorticoid levels in feedlot steers in three different sire breed. **Proceedings of the Canadian Nutrition Congress**, p. 36, 2007.

MONTANHOLI, Y. R.; ODONGO, N. E.; SWANSON, K. C. et al. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). **Journal of Thermal Biology**, v. 33, n. 8, p. 469-475, 2008.

MONTANHOLI, Y. R.; SWANSON, K. C.; PALME, R. et al. Assessing feed efficiency in beef steers through feeding behavior, infrared thermography and glucocorticoids. **Animal**, Cambridge, v. 4, n. 5, p. 692-701, 2009a.

MONTANHOLI, Y. R.; SWANSON, K. C.; SCHENKEL, F. S. et al. On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 125, n. 1, p. 22-30, 2009b.

MONTANHOLI, Y. R.; SWANSON, K. C.; PALME, R.; et al. Assessing feed efficiency in beef steers through feeding behavior, infrared thermography and glucocorticoids. **Animal**, v. 4, n. 5, p.692-701, 2010.

MONTEIRO, S. N.; AMARAL JÚNIOR, J. M.; SOUSA, M. A. P.; et al. Infrared

thermography in the assessment of thermal comfort of confined water buffaloes in the amazon biome. II SIGEE – Second International Symposium on Greenhouse Gases in Agriculture – **Proceedings**, p. 290-294, 2016.

NASCIMENTO, M. L.; SOUZA, A. R. D. L.; CHAVES, A. S. et al. Feed efficiency indexes and their relationships with carcass, non-carcass and meat quality traits in Nelore steers. **Meat Science** v. 116, p. 78-85, 2016.

NEGESSE, T.; DATT, C.; KUNDU, S. S. Variability in residual feed intake and nutrient utilization in Murrah buffalo heifers. **Tropical Animal Health and Production**, v. 48, n. 8, p. 1577-1584, 2016.

NRC 1996 Nutrient Requirements of beef Cattle. 7th revised edition, National Academy Press, Washington, D.C.

OLIVEIRA, Z. B.; SILVA, C. M.; SOUZA, T. T. L.; BOTTEGA, E. L. Cenários de mudanças climáticas e seus impactos na produção leiteira no sul do Brasil. **Brasilian Journal of Biosystems Engineering**. v. 12, n. 2, p. 110-121, 2018.

OWENS, F. N.; DUBESKI, P.; HANSON, C. F. Factors that alter the growth and development of ruminants. **Journal of Animal Science** v. 71, p. 3138-3150, 1993.

PAIM, T. P.; GOULARD, R. O.; SILVA, D. A. L.; et al. Relationship of weight gain with infrared temperatures in Nelore and F1 (Nelore x Angus) heifers reared in two forage production systems. **Journal of Animal Science**. 2018.

PANTOJA, M. H. A.; SILVA, J. A. R.; DELGADO, M. L.; et al. Respostas fisiológicas e adaptabilidade de bubalinos ao clima equatorial amazônico. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**. v. 16, 2018.

PERKINS, S. D.; KEY, C. N.; GARRETT, C. F. et al. Residual feed intake studies in Angus-sired cattle reveal a potential role for hypothalamic gene expression in regulating feed efficiency. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 2, p. 549-560, 2014.

PORTO, S. L. B.; NEVES, K. A. L.; LIMA DA SILVA, A. S.; et al. Avaliação do comportamento de bovinos e bubalinos durante exposição feira agroindustrial do baixo Amazonas. **Agroecossistemas**. v. 10, n. 2, p. 11-24, 2018.

RAINWATER-LOVETT, K.; PACHECO, J. M.; PACKER, C.; et al. Detection of foot-and-mouth disease virus infected cattle using infrared thermography. **The Veterinary Journal**. v. 180, n. 3, p. 317-324, 2009.

REKANT, D. I.; LYONS, M. A.; PACHECO, J. M.; et al. Veterinary applications of infrared thermography. **American Journal of Veterinary Research**. v. 77, n. 1, p. 98-107, 2016.

RESENDE, K. T.; TEIXEIRA, I. A. M. A.; FERNANDES, M. H. M. R. Metabolismo de energia. In: BERCHIELLI, T. T.; PIREZ A. V.; OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de Ruminantes 2<sup>a</sup> ed**, cap. 11, p. 323-344, 2011.

REZENDE, M. P. G. de, Ferraz, P. C., Carneiro, P. L. S., & Malhado, C. H. M. Phenotypic diversity in buffalo cows of the Jafarabadi, Murrah, and Mediterranean

- breeds. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 8, p. 663–669, 2017.
- RICCA, R. The history of infrared thermography. In: **Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine**, p. 3-12, 2013.
- ROBERTO, J. V. B.; DE SOUZA, B. B. Utilização da termografia de infravermelho na medicina veterinária e na produção animal. **Journal Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 2, p. 73-84, 2014.
- ROSINA, E. Infrared history and applications In: **Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine**, p. 13-26, 2013.
- RUEDIGER, F. R.; CHACUR, M. G. M.; ALVES, F. C. P. E.; et al. Digital infrared thermography of the scrotum, semen quality, serum testosterone levels in Nellore bulls (*Bos taurus indicus*) and their correlation with climatic factors. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 1, 2016.
- SALLES, M. S. V.; SILVA, S. C.; ROMA, L. C.; et al. Detection of heat produced during roughage digestion in ruminants by using infrared thermography. **Animal Production Science**. 2017.
- SANTOS, C. L. R.; SANTOS JÚNIOR, J. B.; CUNHA, M. C.; et al. Nível tecnológico e organizacional da cadeia produtiva da bubalinocultura de corte no estado do Maranhão. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 83, p. 1-8, 2016.
- SCHAEFER, A. L.; OMINSKI, K.; THOMPSON, S.; et al. Energy utilization in cattle with steady state and non-steady state methods: the importance of thermal neutrality. **Heliyon**, v. 4, n. 10, p. 1-22, 2018.
- SCHARF, B.; CARROLL, J. A.; RILEY, D. G. et al. Evaluation of physiological and blood serum differences in heat-tolerant (Romosinuano) and heat-susceptible (Angus) *Bos taurus* cattle during controlled heat challenge. **Journal of Animal Science**. v. 88, n. 7, p. 2321-2336, 2014.
- SEJIAN, V.; BHATTA, R.; GAUGHAN, J. B.; et al. Review: Adaptation of animals to heat stress. **Animal**, p. 1-14, 2018.
- SELLIER, N.; GUETTIER, E.; STAUB, C. A review of methods to measure animal body temperature in precision farming. **American Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 2 n. 2, p.74-99, 2014.
- SEVEGNANI, K. B.; FERNANDES, D. P. B.; MODENESE-GORLA DA SILVA, S. H. Evaluation of thermoregulatory capacity of dairy buffaloes using infrared thermography. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 36, n. 1, p. 1-12, 2016.
- SHARMA, V. C.; MAHESH, M. S.; MOHINI, M.; et al. Nutrient utilisation and methane emissions in Sahiwal calves differing in residual feed intake. **Archives of Animal Nutrition**, v. 68, n. 5, p. 345-357, 2014.
- SHARMA, V. K.; KUNDU, S. S.; PRUSTY, S.; DATT, C., KUMAR, M. Nutrient utilisation, growth performance and blood metabolites in Murrah buffalo calves

(*Bubalus bubalis*) divergently selected for residual feed intake. **Archives of Animal Nutrition**, v. 70, n. 6 p. 455-469, 2016.

SHARMA, V. K.; KUNDU, S. S.; DATT, C. et al. Buffalo heifers selected for lower residual feed intake have lower feed intake, better dietary nitrogen utilisation and reduced enteric methane production. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**. v. 102, n. 2, p. 607-614, 2017.

SIMÕES, V.G.; LYAZRHI, F.; PICARD-HAGEN, N.; et al.. Variations in the vulvar temperature of sows during proestrus and estrus as determined by infrared thermography and its relation to ovulation. **Theriogenology**. v. 82, n. 8, p. 1080-1085, 2014.

SOUZA, C. D.; CHACUR, M.G.M.; RUEDIGER, F.R.; et al. Temperatura por infravermelho do escroto e quadro seminal em touros adultos jovens e adultos maduros da raça nelore. **Colloquium Agrariae**, v. 13, n. 1, p. 66-70, 2017.

SPEAKMAN, J. R., E WARD, S. Infrared thermography: principles and applications. **Zoology**, v. 101, p. 224-232, 1998

STEYN, Y.; VAN MARLE-KÖSTER, E.; THERON, H. E. Residual feed intake as selection tool in South African Bonsmara cattle. **Livestock Science**, v. 164, p. 35-38, 2014.

TALUKDER, S.; KERRISK, K. L.; INGENHOFF, L.; et al. Infrared technology for estrus detection and as a predictor of time of ovulation in dairy cows in a pasture-based system. **Theriogenology**, v. 81, n. 7, p. 925-935, 2014.

TEIXEIRA, V. A.; TOMICH, T. R.; LANA, A. M. Q.; et al. Pecuária leiteira de precisão: utilização da termografia infravermelho na produção e reprodução animal. **Embrapa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. 2018.

THOMPSON, S.; SCHAEFER, A. L.; CROW, G. H.; et al. Relationship between residual feed intake and radiated heat loss using infrared thermography in young beef bulls. **Journal of Thermal Biology**, 2018.

VILLARES, J. B.; RAMOS, A. A.; ROCHA, G.P. As vias cutâneas e respiratórias na termólise de bubalinos sob extrema tensão térmica. In: RAMOS, A. de A.; VILLARES, J.B.; MOURA, J.C. de. **Bubalinos**. Fundação Cargill, p.55-68, 1979.

ZANINELLI, M.; REDAELLI, V.; LUZI, F.; et al. First Evaluation of Infrared Thermography as a Tool for the Monitoring of Udder Health Status in Farms of Dairy Cows. **Sensors**, v. 18, n. 3, p. 862, 2018.



**Termografia infravermelho e medidas de eficiência de bubalinos de três grupos genéticos sob condições tropicais<sup>1</sup>**

Agradecimento ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (processo 141917/2016-4), pela bolsa concedida e ao Projeto Temático Fapesp (processo 2014/05473-7).

## RESUMO

Objetivou-se com esse estudo avaliar a utilização da termografia infravermelho e a relação e interações entre medidas de eficiência e desempenho, de diferentes grupos genéticos de bubalinos na fase de crescimento em confinamento. Foram utilizados 75 bubalinos (*Bubalus bubalis*) machos não castrados de 3 diferentes grupos genéticos (Jafarabadi, Mediterrâneo e Murrah). De modo que 25 animais de cada raça ( $390 \pm 32$  dias de idade,  $310 \pm 61,27$  kg) foram alojados em baias coletivas e alimentados de forma *ad libitum*. Foram avaliadas: conversão alimentar (CA), eficiência alimentar (EA), consumo alimentar residual (CAR), ganho residual (GR) e consumo ganho residual (CGR). Os animais foram classificados para cada medida de eficiência em três grupos: baixo ( $<0,5$  DP média), médio (dentro de  $\pm 0,5$  DP) e alto ( $> 0,5$  DP média), e em seguida, alto e baixo foram comparados utilizando Proc MIXED (SAS). As imagens de infravermelho foram coletadas nas regiões do olho, face, costelas, escroto, patas e peito. Significância foi considerada se  $P < 0,05$ . Houve interação entre os grupos genéticos para o CAR ( $P < 0,01$ ), permitindo classificar os bubalinos Jafarabadi de baixo CAR como mais eficientes, e uma tendência foi encontrada ( $P = 0,08$ ) para a classe alto CGR apresentando os melhores índices. As medidas de eficiência apresentaram efeito no qual animais de baixo CAR apresentaram maior IMS e maior EA ( $P < 0,01$ ), enquanto que animais das classes alto GR e alto CGR apresentaram os melhores índices de desempenho. Foi observada correlação entre os critérios de eficiência CAR e CGR para as temperaturas na região do peito (0,18 e -0,17, respectivamente). A menor temperatura encontrada nos olhos permitiu classificar os animais Jafarabadi como mais eficientes segundo o baixo CAR ( $P < 0,01$ ), enquanto que para a medida de eficiência CGR as medidas termográficas foram eficientes em classificar o grupo Jafarabadi do alto CGR com menores temperaturas no olho ( $P <$

0,01) e nariz ( $P = 0,03$ ). Houve efeito de grupo genético em determinadas regiões de análise da termografia infravermelho. A temperatura na região do peito permitiu classificar os animais de baixo CAR com menores temperaturas ( $30,29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $P = 0,04$ ) e a região do nariz com menores temperaturas na classe alto CGR ( $26,23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $P = 0,04$ ). Portanto, a melhor região para análise de termografia para prever a eficiência alimentar segundo o CAR é o peito e para o CGR, a região do nariz de bubalinos confinados em condições tropicais.

**Palavras chave:** búfalos, confinamento, consumo alimentar residual, recria, termografia infravermelho.

**Infrared thermography and efficiency measures of water buffaloes from three genetic groups under tropical conditions<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Appreciation is expressed to National Council for Scientific and Technological Development – CNPq (process 141917/2016-4, research support) and the Thematic Project Fapesp (process 2014 / 05473-7).

**ABSTRACT**

The aim of this study was evaluate the use of infrared thermography and the relation and interaction with efficiency measures and performance of different genetic groups of water buffaloes during the growth phase in feedlot. 75 male non-castrated water buffaloes (*Bubalus bubalis*) of 3 genetic groups (Jafarabadi, Mediterranean and Murrah) were used. Thus, 25 animals of each breed ( $390 \pm 32$  days of age,  $310 \pm 61.27$  kg) were allocated in collective pens and fed *ad libitum*. The following variables were evaluated: feed conversion (FC), feed efficiency (FE), residual feed intake (RFI), residual BW gain (RG) and residual intake and BW gain (RIG). The animals were classified for each measures of efficiency as Low ( $<0.5$  SD mean), Medium (within  $\pm 0.5$  SD), and High ( $>0.5$  SD mean) groups, and then High and Low groups were compared using Proc MIXED (SAS). Infrared thermography images were collected from regions of the eye, snout, face, ribs, scrotum, forelegs and breast. Significance was considered if  $P < 0.05$ . There was interaction between the genetic groups for RFI ( $P < 0.01$ ), classify low RFI Jafarabadi as more efficient and a trend was observed ( $P = 0.08$ ) for Jabarabadi high RIG with the best indexes. The efficiency measure had an effect in animals with low CAR presented higher DMI and higher FE ( $P < 0.01$ ), while animals from the high RG and high RIG presented the best performance index. Correlation between the RFI and RIG efficiency for temperatures in the breast (0.18 and -0.17, respectively) was observed. The lower temperature found in the eyes classify the Jafarabadi more efficient according to the Low CAR ( $P < 0.01$ ), while for the RIG efficiency measure the thermographic measurements were efficient in classifying the Jafarabadi group of the high RIG with lower temperatures presented in the eye ( $P < 0.01$ ) and snout ( $P = 0.03$ ). There was a genetic group effect in certain regions of infrared thermography analysis. When the temperatures were analyzed according to efficiency measures, the chest

region allowed to classify the animals of the low RFI class with lower temperatures (30.29 °C;  $P = 0.04$ ) and the nose region showed lower temperatures in the RIG class (26.23 °C,  $P = 0.04$ ). Therefore, the best region for thermography analysis to predict feed efficiency according to the RFI is the chest and the RIG, the nose region of buffaloes confined under tropical conditions.

**Key Words:** feedlot, growing phase, infrared thermography, residual feed intake, water buffaloes.

## INTRODUÇÃO

Com o objetivo de maximizar a eficiência produtiva de bubalinos, o desenvolvimento de alternativas tecnológicas que permitam identificar animais com alta eficiência alimentar ganham relevância dentro dos sistemas de produção.

A determinação da eficiência alimentar dos animais agrega informações aos programas de melhoramento genético e simultaneamente, intensifica a rentabilidade do produtor, tendo em vista que a alimentação é um dos maiores custos dentro do sistema produtivo (Mendes e Campos, 2016).

Nesse contexto, o conceito de consumo alimentar residual (CAR) e o ganho residual (GR) foram propostos por Koch et al. (1963) como medidas para identificação de animais com maior eficiência alimentar e rápido crescimento, respectivamente, sendo o consumo ganho residual (CGR) a combinação do CAR e GR (Berry e Crowley, 2012).

As variações individuais do CAR influenciadas por processos biológicos como digestão da dieta são discutidas em diversos trabalhos (Richardson e Herd, 2004; Herd e Arthur, 2009), entretanto, a utilização dessas metodologias de determinação da eficiência alimentar é possível apenas com a mensuração do consumo alimentar diário individual, sendo essa uma medida onerosa que demanda tempo.

Novas metodologias para predizer indiretamente a eficiência animal têm sido estudadas. Com isso, estudos com a termorregulação estão sendo relacionados à determinação da eficiência alimentar, pois estão associados ao metabolismo e gasto energético (Herd et al., 2009).

A termografia infravermelha mede de forma não invasiva a temperatura por meio da energia emitida pelas superfícies e a transforma em uma imagem visível. Essa

metodologia apresenta grande potencial nas análises de fisiologia animal, determinação de doenças ocasionadas por variações térmicas (Mc Manus et al., 2016; Zaninelle et al., 2018), determinação da eficiência alimentar, ganho médio diário, ingestão de matéria seca e emissão de metano (Montanholi et al., 2010; Martello et al., 2016; Sharma et al., 2017; Guimarães et al., 2017; Schaefer et al., 2018).

Animais mais eficientes apresentam menor temperatura superficial corporal e também produzem menos metano que animais menos eficientes (Montanholi et al., 2008; Sharma et al., 2017; Guimarães et al., 2017; Schaefer et al., 2018).

Com base na literatura citada sobre termografia infravermelho, a análise da temperatura corporal e as interações com as medidas de eficiência (CAR, GR e CGR) são raras para bubalinos, o que demonstra a relevância em pesquisar como essa espécie responde a perda de calor e se é possível medi-la com o uso de termografia infravermelho e correlaciona-la com medidas de eficiência alimentar.

Com isso, objetivou-se com este estudo correlacionar a análise de imagens de termografia infravermelho com medidas de eficiência alimentar animal, sendo essas determinadas por meio do consumo alimentar residual (CAR), ganho residual (GR) e pelo consumo ganho residual (CGR), e suas interações com medidas de desempenho em bubalinos confinados de diferentes grupos genéticos.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Os procedimentos com os animais foram conduzidos de acordo com os padrões éticos de pesquisa e experimentação animal, estabelecidos pela Comissão Ética em Uso de Animais da Universidade Estadual Paulista – UNESP, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, protocolo nº 05/2015-CEUA, campus de Botucatu.



alterações ocorrem devido a ajustes circulatórios que permitem que o fluxo sanguíneo circule em vasos periféricos do corpo e permita a troca de calor entre o animal e o ambiente (Montanholi et al., 2008 e Montanholi et al. 2009).

A análise da temperatura superficial por meio da termografia infravermelho permite obter valores médios de temperatura para os diferentes pontos anatômicos, e também fornece uma área que pode ser facilmente afetada por variáveis externas como a temperatura ou radiação do ambiente e também fatores físicos e fisiológicos, incluindo algumas variações de temperatura oriundas da cor ou densidade de pelos.

## **CONCLUSÃO**

Os resultados obtidos com a pesquisa confirmam que há relação entre as imagens termográficas realizadas na região do peito e nariz, para determinar a eficiência alimentar por meio do CAR e CGR, respectivamente, de modo que animais com melhores índices de eficiência apresentaram menores temperaturas de superfície em ambas regiões.

A classe do grupo genético Jafarabadi determinada como baixo CAR apresentaram os melhores índices de eficiência alimentar, quando comparados aos demais grupos.

O método de análise de termografia infravermelha possui potencial para ser utilizado para classificação da eficiência alimentar de forma rápida e não invasiva de bubalinos confinados sob condições tropicais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC (2012). Official Methods of Analysis os AOAC International (19 ed.).
- Archer, J. A., E. C. Richardson, R. M. Herd, P. F. Arhtur. 1999. Potential for selection to improve efficiency of feed use in beef cattle: a review. *Australian Journal of Agricultural*, 50(2):147-161.
- Arkin H., E. Kimmel, A. Berman, D. Broday. 1991 Heat transfer properties of dry and wet furs of dairy cows. *Trans ASAE* 34:2550–2558
- Barros, D. V., L. K. X. Silva, P. R. Kahwage, et al. 2016. Assessment of surface temperatures of buffalo bulls (*Bubalus bubalis*) raised under tropical conditions using infrared thermography. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 68(2):422-430.
- Basarab, J.A., M. A. Price, J. L. Aalhus, et al., 2003. Residual feed intake and body composition in young growing cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 83:189–204.
- Berg, R. T., & R. M. Butterfield. 1976. *New concepts of cattle growth*. Sydney University Press, University of Sydney.
- Berry, D.P., J. J. Crowley, 2012. Residual intake and gain; a new measure of efficiency in growing cattle. *Journal of Animal Science* 90:109-115.
- Birkett, S., K. de Lange, 2001. Limitations of conventional models and a conceptual framework for a nutrient flow representation of energy utilization by animals. *Br. J. Nutr.* 86:647–659.
- Bolívar, D. M., M. F. Cerón-Muñoz, R. Barahona-Rosales. 2014 Feed efficiency traits and productive performance in fifteen-month old buffaloes (*Bubalus bubalis*) from a dual-purpose system. *Livestock Research for Rural Development*, 26(7).

- Bro-Jørgensen, J. 2016. Evolution of the ungulate dewlap: thermoregulation rather than sexual selection or predator deterrence. *Frontiers in Zoology*. 13(1):1-7.
- Cardoso, C., F. Lima, M. Fioravanti, et al. 2016. Heat Tolerance in Curraleiro Pe-Duro, Pantaneiro and Nelore Cattle Using Thermographic Images. *Animals*. 6(2):1-11.
- Castro Bulle, F.C.P., P. V. Paulino, A. C. Sanches, R. D. Sainz, 2007. Growth, carcass quality, and protein and energy metabolism in beef cattle with different growth potentials and residual feed intakes. *J. Anim. Sci.* 85, 928–936.
- Cook N. J., J. S. Church, A. L. Schaefer, J. R. Webster, L. R. Matthews, J. M. Suttie, 2005. Stress and pain assessment of velvet antler removal from Elk (*Cervus elaphus canadensis*) and Reindeer (*Rangifer tarandus*). *Online J Vet Res* 9:13–25
- Costa, C. C. M., A. S. C. Maia, S. T. Nascimento, C. C. N. Nascimento. Et al. 2018. Thermal balance of Nelore cattle. *International Journal of Biometeorology*. 62(5):723-731.
- Fuquay J. W 1981. Heat stress as is affects animal production. *J Anim Sci* 52:164–174
- Garcia, A. R. 2013. Conforto térmico na reprodução de bubalinos criados em condições tropicais. *Pesquisa Brasileira de Reprodução Animal*. 37(2)121-130.
- Guimarães, A. L., M. E. Z. Mercadante, R. C. Canesin, et al. 2017. Phenotypic association between feed efficiency and feeding behavior, growth and carcass traits in Senepol cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46(1)47-55.
- Hahn, G. L., A. M. Parkhurst, J. B. Gaughan, 1997. Cattle respiration rate as a function of ambient temperature. *Transactions of ASAE*. Paper, no. MC 97-121
- Hahn, G.L. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Animal Science*. 77 (Suppl. 2):10–20.

- Herd, R. M., J. A. Archer, P. F. Arthur. 2003. Reducing the cost of beef production through genetic improvement in residual feed intake: Opportunity and challenges to application. *Journal of Animal Science*, 81(E. Suppl. 1):E9–E17.
- Herd, R.M., P. F. Arthur. 2009. Physiological basis for residual feed intake. *J. Anim. Sci.* 87(E. Suppl.):E64–E71, 64–71.
- Herring, W.O., D.C. Miller, J.K. Bertrand, L. L. Benyshek, 1994. Evaluation of machine, technician, and interpreter effects on ultrasonic measures of backfat and longissimus muscle area in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 72(9):2216-2226.
- Hsieh J. C., K. H. Chan, P. W. Lui, T. Y. Lee. 1990 Clinical application of infrared thermography in diagnosis and therapeutic assessment of vascular ischemic pain. *Acta Anaesthesiol Sin* 28:493–501.
- Jorge, A. M., C. A. A. Fontes, J. A. Freitas, J. E. Soreas, L. R. Rosales Rodriguez, A. C. Queiroz, F. D. Resende. 1997. Ganho de Peso e de Carcaça, Consumo e Conversão Alimentar de Bovinos e Bubalinos, Abatidos Em Dois Estágios de Maturidade. *R. Bras. Zootec.* 26(4):806-812.
- Jorge, A M., C. Andrighetto, D. D. Millen, M.G. Calixto, A.D.F. Vargas. 2006. Desempenho e Eficiência Biológica de Bubalinos de Três Grupos Genéticos Terminados em Confinamento e Abatidos em Diferentes Estágios de Maturidade. *R. Bras. Zootec.* 35(1), 252-257.
- Kastelic, J. P. 2013. Male involvement in fertility and factors affecting semen quality in bulls. *Anim. Front.*, 3:20-25.
- Kastelic, J. P. 2014. Understanding and evaluating bovine testes. *Theriogenology*, 81:18-23.
- Kennedy, B W, J. H. Van Der Werf, T. H. Meuwissen. 1993. Genetic and statistical properties of residual feed intake. *Journal of animal science*, 71(12):3239-3250.

- Khongdee, T., S. Sripoon, C. Vajrabukka, 2013. Effects of high temperature and roof modification on physiological responses of swamp buffalo (*Bubalus bubalis*) in the tropics. *International Journal of Biometeorology* 57:349–354.
- Kleiber, M. 1961. *The fire of life: an introduction to animal energetics*. New York: John Wiley & Sons. 454.
- Koch, R.M., L. A. Swiger, D. Chambers, et al. 1963. Efficiency of feed use in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 22(2):486-494.
- Luzi, F., M. Mitchell, L. N. Costa, V. Redaelli. 2013. *Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine*. Brescia, Italy: Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche.
- Malama, E., H. Bollwein, I. A. Taitzoglou. et al. 2013. Chromatin integrity of ram spermatozoa. Relationships to annual fluctuations of scrotal surface temperature and temperature-humidity index. *Theriogenology*, 80:533-541.
- Martello, L. S. et al. 2016. Infrared thermography as a tool to evaluate body surface temperature and its relationship with feed efficiency in *Bos indicus* cattle in tropical conditions. *International Journal of Biometeorology*, 60(1):173-181.
- McManus, C., E. Bianchini, T. P. Paim, F. G. de Lima, J. Braccini Neto, M. Castanheira, G. I. F. Esteves, C. C. Cardoso, V. C. Dalcin, J. Neto, M. Castanheira, G. I. F. Esteves, C. C. Cardoso, and V. C. Dalcin. 2015. Infrared Thermography to Evaluate Heat Tolerance in Different Genetic Groups of Lambs. *Sensors (Basel)*. 15:17258–17273.
- McManus, C., C. B. Tanure, V. Peripolli, et al. Infrared thermography in animal production: An overview. 2016. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123:10-16.
- Mendes, E. D. M., M. M. Campos, 2016. Eficiência alimentar em bovino de corte. *Informe Agropecuário*, 37(292):28-38.
- Montanholi, Y. R. et al. 2009. On the determination of residual feed intake and

- associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. *Livestock Science*, 25(1):22–30.
- Montanholi, Y. R., K. C. Swanson, R. Palme, et al. 2010. Assessing feed efficiency in beef steers through feeding behavior, infrared thermography and glucocorticoids. *Animal*, 4(5):692-701.
- Negesse, T., C. Datt, S. S. Kundu, 2016. Variability in residual feed intake and nutrient utilization in Murrah buffalo heifers. *Tropical Animal Health and Production*. 48(8):1577-1584.
- Nkrumah, J. D. et al 2007. Genetic and phenotypic relationships of feeding behavior and temperament with performance, feed efficiency, ultra- sound and carcass merit of beef cattle. *J Anim Sci* 85:2382–2390.
- NRC, 2000. *Nutrient Requirements of beef Cattle*. 7th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Owens, F.N., P. Dubeski, C. F. Hansont, 1993. Factors that Alter the Growth and Development of Ruminants. *J. Anim. Sci.* 71, 3138–3150.
- Owens, F.N., D. R. Gill, D. S. Secrist, S. W. Coleman, 1995. Review of some aspects of growth and development of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 73(10), 3152-3172.
- Paim, T. P, B. O. Borges, P. M. T. Lima, E. F. Gomes, B. S. L. Dallago, R. Fadel, A. M. Menezes, H. Louvandini, M. E. A. Canozzi, J. O. J. Barcellos, C. McManus. 2013. Thermographic evaluation of climatic conditions on lambs from different genetic groups. *International Journal of Biometeorology* 57:59-66.
- Paim, T. P., R. F. S. Martins, C. Cardoso, B. Dallago, H. Louvandini, and C. McManus. 2014. Thermal comfort index and infrared temperatures for lambs subjected to different environmental conditions. *Sci. Agric.* 71:356–361.

- Paim, T. P., R. O. Goulard, D. A. L Silva, et al. 2018. Relationship of weight gain with infrared temperatures in Nelore and F1 (Nelore x Angus) heifers reared in two forage production systems. *Journal of Animal Science*.
- Pavlidis I, N. L. Eberhardt, J. A. Levine. 2002. Human behaviour: seeing through the face of deception. *Nature* 415:35.
- Rezende, M. P. G. de, P. C. Ferraz, P. L. S. Carneiro, C. H. M. Malhado, 2017. Phenotypic diversity in buffalo cows of the Jafarabadi, Murrah, and Mediterranean breeds. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 52(8):663–669.
- Richardson, E.C., R. M. Herd, V. H. Oddy, J. M. Thompson, J. A. Archer, P. F. Arthur, 2001. Body composition and implications for heat production of Angus steer progeny of parents selected for and against residual feed intake. *Aust. J. Exp. Agric.* 41:1065–1072.
- Richardson, E.C.A., R. M. B. Herd. 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle . 2 . Synthesis of results following divergent selection. *Aust. J. Exp. Agr.* 44(5):431-440.
- Rosner, B. 1983. Percentage points for a generalized ESD many-outlier procedure. *Technometrics*, 25(2):165–172.
- Salles, M. S. V., S. C. Silva, L. C. Roma, et al. 2017. Detection of heat produced during roughage digestion in ruminants by using infrared thermography. *Animal Production Science*.
- SAS – 1999. Institute Inc., Cary, NC, USA. SAS/STAT User’s guide. Cary: Statistical Analysis System Institute.
- Schaefer, A. L., K. Ominski, S. Thompson, et al. 2018. Energy utilization in cattle with steady state and non-steady state methods: the importance of thermal neutrality. *Heliyon*, 4(10), e00843.

- Sevegnani, K. B., D. P. B. Fernandes, S. H. Modenese-Gorla Da Silva, 2016. Evaluation of thermoregulatory capacity of dairy buffaloes using infrared thermography. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*. 36:1-12,.
- Sharma, V. C., M. S. Mahesh, M. Mohini, C. Datt, V. M. Nampoothiria, 2014. Nutrient utilisation and methane emissions in Sahiwal calves differing in residual feed intake. *Archives of Animal Nutrition*, 68(5):345-357.
- Sharma, V. K., S. S. Kundu, S. Prusty, C. Datt, M. Kumar. 2016. Nutrient utilisation, growth performance and blood metabolites in Murrah buffalo calves (*Bubalus bubalis*) divergently selected for residual feed intake. *Archives of Animal Nutrition*, 70(6):455-469.
- Sharma, V. K., S. S. Kundu, C. Datt, et al. 2017. Buffalo heifers selected for lower residual feed intake have lower feed intake, better dietary nitrogen utilisation and reduced enteric methane production. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(2):607-614.
- Silanikove N 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest Prod Sci* 67:1–18.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10):3583-3597.
- Weiss, W. P. 1999. Energy prediction equations for ruminant feeds. In: *Cornell nutrition conference for feed manufacturers*, 61. Ithaca: Cornell University. p. 176-185.
- Zaninelli, M., V. Redaelli, F. Luzi, et al. 2018. First Evaluation of Infrared Thermography as a Tool for the Monitoring of Udder Health Status in Farms of Dairy Cows. *Sensors*, 18(3):862.