

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EQUILÍBRIO TÉRMICO DE BOVINOS CRUZADOS (ANGUS
VS NELORE) EM AMBIENTE TROPICAL**

Gustavo André Bernado Moura
Zootecnista

2019

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EQUILÍBRIO TÉRMICO DE BOVINOS CRUZADOS (ANGUS
VS NELORE) EM AMBIENTE TROPICAL**

Gustavo André Bernado Moura

Orientador: Prof. Dr. Alex Sandro Campos Maia

**Dissertação de mestrado
apresentada à Faculdade de
Ciências Agrária e Veterinárias –
Unesp, Câmpus de Jaboticabal,
como parte das exigências para
obtenção do título de Mestre em
Zootecnia.**

2019

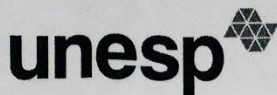
Ficha Catalográfica

M929e	Moura, Gustavo André Bernado Equilíbrio Térmico de Bovinos Cruzados (Angus Vs Nelore) em Ambiente Tropical / Gustavo André Bernado Moura. -- Jaboticabal, 2019 62 p. + 1 CD-ROM Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal Orientadora: Alex Sandro Campos Maia 1. Biometeorologia e Bem-Estar Animal. 2. Bovinos de Corte. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp.
Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,
Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Certificado de Aprovação



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



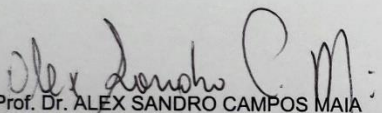
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

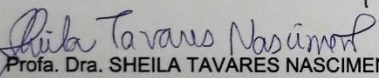
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: EQUILÍBRIO TÉRMICO DE BOVINOS CRUZADOS (ANGUS VS NELORE)
EM AMBIENTE TROPICAL

AUTOR: GUSTAVO ANDRÉ BERNADO MOURA

ORIENTADOR: ALEX SANDRO CAMPOS MAIA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ZOOTECNIA, pela
Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ALEX SANDRO CAMPOS MAIA
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Profa. Dra. SHEILA TAVARES NASCIMENTO
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária-UnB / Brasília/DF


Pós-Doutoranda CINTIA CAROL DE MELO COSTA
Laboratório de Biometeorologia Animal-FCAV/UNESP / Jaboticabal/SP

Jaboticabal, 25 de fevereiro de 2019

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Gustavo André Bernado Moura nasceu em Serra Talhada no Estado de Pernambuco no 05 de novembro de 1993. Em 2011 ingressou no curso de Bacharelado em Zootecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada, obtendo o título de Zootecnista em junho de 2016. Durante a graduação foi bolsista de extensão e iniciação científica voluntária; também foi integrante do Grupo de Estudos e Pesquisas do Leite no Sertão (GEPEL), Grupo de Agrometeorologia no Semiárido (GAS) e da empresa Consultoria Agropecuária Jr (CIAGRO). Em março de 2018 ingressou no curso de mestrado em Zootecnia no Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Estadual Júlio Mesquita, dedicando-se a área de Biometeorologia Animal. Atualmente é integrante do Grupo de Inovação em Biometeorologia, Ambiência e Bem-Estar Animal (INO BIO-MANERA).

Dedicatória

Dedico a minha mãe, Andrea Lopes de Moura e a meu tio Aristóteles Simões de Moura (*in memoriam*). E a toda minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, por tudo que provê em minha vida.

À toda minha família por me apoiar e me dar forças, por ser o meu pilar.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Jaboticabal, e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Alex Sandro Campos Maia, por todos os ensinamentos compartilhados.

Ao Grupo de Inovação em Biometeorologia, Ambiência e Bem-Estar Animal (INOBIOMANERA). A todos os integrantes/amigos do grupo que me ajudaram nessa jornada.

Aos estagiários que participaram da execução do meu experimento.

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

SUMÁRIO

Certificado da Comissão de Ética no Uso de Animais	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT	v
1. CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais.....	1
1.1 Introdução	1
1.2 Revisão de literatura	3
1.2.1 Uma breve história sobre os bovinos.....	3
1.2.2 Sistema de produção de bovinos de corte.....	5
1.2.2.1 Cadeia produtiva.....	5
1.2.3 Termorregulação de bovinos de corte	7
1.3 Considerações gerais.....	13
1.4 Objetivos	14
1.4.1 Objetivo Geral.....	14
1.4.2 Objetivos Específicos	14
1.5 Referências	15
2 CAPÍTULO 2 – Respostas Fisiológicas e Equilíbrio Térmico de Bovinos Cruzados (½ Nelore x ½ Angus) em Ambiente Tropical	25
2.1 Introdução	26
2.2 Materiais e métodos	27
2.2.1 Animais, local e desenho experimental	27
2.2.2 Estrutura, manejo dos animais e registro dos dados	28
2.2.3 Variáveis meteorológicas.....	29
2.2.4 Treinamento dos animais e parâmetros fisiológicos	30
2.2.5 Determinação do equilíbrio térmico	30
2.2.6 Análise estatística	31
2.3 Resultados	31

2.4	Discussão.....	36
2.5	Conclusão	41
2.6	Referências	42
2.7	ANEXO – Material suplementar	46
2.7.1	Protocolo de Treinamento dos animais	46
2.7.2	Calibração do sistema	48
2.7.3	Equilíbrio Térmico.....	49
2.7.4	Produção metabólica de calor	50
2.7.5	Fluxo de calor por convecção.....	51
2.7.6	Radiação de ondas longas	52
2.7.8	Fluxo de calor por evaporação na superfície cutânea	53
2.7.9	Imagens.....	54

Certificado da Comissão de Ética no Uso de Animais



CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o projeto intitulado **“Equilíbrio térmico de bovinos Angus associado à sua emissão de metano entérico”**, protocolo nº 013641/17, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Alex Sandro Campos Maia, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP, em reunião ordinária de 06 de setembro de 2017.

Vigência do Projeto	15/09/2017 a 15/03/2018
Espécie / Linhagem	Bovinos
Nº de animais	12
Peso / Idade	360 Kg / 18 meses
Sexo	Macho
Origem	Sítio Boa Esperança – Pedranópolis - SP

Jaboticabal, 06 de setembro de 2017.


Prof.ª Dr.ª Lizandra Amoroso
 Coordenadora – CEUA

TERMORREGULAÇÃO E EMISSÃO DE METANO ENTÉRICO DE BOVINOS CRUZADOS (ANGUS VS NELORE) EM AMBIENTE TROPICAL

RESUMO – Objetiva-se avaliar termorregulação e emissão de metano de bovinos cruzados ($\frac{1}{2}$ Nelore x $\frac{1}{2}$ Aberdeen Angus). O trabalho foi conduzido no Laboratório de Bioclimatologia Animal da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), campus de Jaboticabal. Doze bovinos F1 ($\frac{1}{2}$ Nelore x $\frac{1}{2}$ Aberdeen Angus), não castrados, com 36 meses e peso médio de 606 ± 6 Kg, foram distribuídos aleatoriamente em um quadrado latino 12×12 para avaliações das respostas fisiológicas das 06:00 às 18:00 durante doze dias, protegidos da radiação solar e chuva. Temperatura do ar (T_A , °C), umidade relativa (UR, %) radiação solar (R_S , $W m^{-2}$), velocidade do vento (V_v , $m s^{-1}$) e temperatura radiante média a sombra (TRM_{SOM} , °C) foram registradas. A proporção dos gases respiratórios (oxigênio, O_2 %; gás carbônico, CO_2 %) pressão de saturação do ar expirado e da cápsula ventilada ($P_S\{T_{EXP}\}$ e $P_S\{T_{EP}\}$, KPa), frequência respiratória (F_R , respirações min^{-1}) e volume respiratório (V_E , $L s^{-1}$); temperatura da epiderme (T_{EP} , °C), pelame (T_s , °C), retal (T_R , °C) e do ar expirado (T_{EXP} , °C) foram registradas por meio de um sistema de medidas fisiológicas e calorimetria indireta. A T_A teve variação de $14,42$ °C ($16,27 \pm 0,19$ a $31,13 \pm 0,30$ °C), a TRM_{SOM} 21 °C ($16,27 \pm 0,19$ a $31,13 \pm 0,30$ °C) e a UR de 46 % ($73,79 \pm 0,59$ a $27,17 \pm 1,05$ %). Os animais apresentaram um metabolismo médio de $215 W m^{-2}$, com T_R variando de $39,03$ a $39,62$ °C e T_{EP} superior a T_s , com uma pequena variação ao longo do dia. Quando a temperatura do ar foi inferior a 19 °C, os fluxos sensíveis representaram de $73,55 - 63,62\%$ do calor metabólico. Com o aumento da temperatura os mecanismos sensíveis perderam importância, e a partir dos 32 °C tornaram-se um ganho de calor do ambiente, sendo os mecanismos latentes o único meio para dissipar calor. Em conclusão os animais demonstraram uma elevada capacidade para manter o equilíbrio térmico quando protegidos da radiação, contudo, com uma maior dependência dos mecanismos latentes.

Palavras-chave: ambiente tropical, gases de efeito estufa, equilíbrio térmico, bovinos de corte

THERMOREGULATION AND EMISSION METHANE ENTERIC OF CROSSBRED CATTLE (ANGUS VS NELORE) IN TROPICAL ENVIRONMENT

ABSTRACT – The objective of this study was to evaluate the thermoregulation and emission of methane from crossbred cattle ($\frac{1}{2}$ Nelore x $\frac{1}{2}$ Aberdeen Angus). The work was carried out at the Animal Bioclimatology Laboratory of the Júlio de Mesquita Filho State University (UNESP), Jaboticabal campus. Twelve 36-month-old F1 ($\frac{1}{2}$ Nelore x $\frac{1}{2}$ Aberdeen Angus) cattle with a mean weight of 606 ± 6 kg were randomly distributed in a 12 x 12 Latin square for evaluations of the physiological responses from 06:00 to 18:00 during twelve days, protected from solar radiation and rain. Temperature of air (T_A , ° C), relative humidity (R_H ,%) solar radiation (R_s , $W\ m^{-2}$), wind speed (V_v , $m\ s^{-1}$) were recorded. The proportion of respiratory gases (oxygen, $O_2\%$, carbon dioxide, $CO_2\%$), expired air saturation pressure and ventilated capsule (P_s { T_{EXP} } and P_s { T_{EP} }, KPa), respiratory rate (F_R , breaths min^{-1}) and respiratory volume (V_E , $L\ s^{-1}$); (T_{EP} , ° C), hair (T_s , ° C), rectal (T_R , ° C) and expired air (T_{EXP} , ° C) were recorded by means of a system of physiological measurements and indirect calorimetry. The T_A had a variation of 14.42 ° C (16.27 ± 0.19 at 31.13 ± 0.30 ° C), TRM_{SOM} 21 ° C (16.27 ± 0.19 at 31.13 ± 0.30 ° C) and 46% R_H (73.79 ± 0.59 to $27.17 \pm 1.05\%$). The animals had an average metabolism of $215\ W\ m^{-2}$, with T_R ranging from 39.03 to 39.62 ° C and T_{EP} higher than T_S , with a small variation throughout the day. When the air temperature was below 19 ° C, the sensitive fluxes represented $73.55 - 63.62\%$ of the metabolic heat. As temperature increased, sensitive mechanisms lost their importance, and from 32 °C they became a heat gain from the environment, and latent mechanisms were the only means of dissipating heat. In conclusion the animals showed a high capacity to maintain the thermal equilibrium when protected from radiation, however, with a greater dependence on latent mechanisms.

Keywords: tropical environment, greenhouse gases, thermal equilibrium, beef cattle

1. CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1 INTRODUÇÃO

Considerado o maior rebanho comercial do mundo, o Brasil possui 221 milhões de cabeças de bovinos, sendo responsável por 14 % da produção mundial de carnes. No ano de 2018 o país atingiu a marca de maior exportador de carne bovina, representando 3% das exportações brasileiras, movimentando aproximadamente R\$ 523 bilhões de reais (ABIEC, 2019). O sistema de produção é caracterizado pelo modelo de criação à pasto (90 %) com predominância de raças zebuínas (MCT, 2010), contudo, pouco eficiente. Níveis elevados de radiação solar, temperatura radiante média e sazonalidade na oferta de forragem são os principais fatores que limitam a introdução de raças taurinas em ambiente tropical.

Bovinos zebuínos (*Bos indicus*) possuem características genéticas que favorecem sua adaptação às condições de clima tropical quando comparados com genótipos selecionados em zonas temperadas (Tuner, 1980; Silva, 2000; Hansen, 2004). Por exemplo, zebuínos apresentam maior capacidade na digestão de alimentos de baixa qualidade (Hunter e Siebert, 1985), metabolismo inferior (Reid et al., 1991; Costa et al., 2017), menor resistência dos tecidos corporais à transferência de calor para o ambiente, superfície cutânea que favorece menor absorção da radiação solar e maior proteção contra a radiação ultravioleta (Finch et al., 1984; Silva et al., 2003) e, em nível celular, maior resistência aos danos causados por altas temperaturas (Krininger et al., 2003). Em contrapartida, taurinos (*Bos taurus*) possuem maior velocidade de crescimento e melhor acabamento de carcaça (Rodrigues et al., 2017). Assim, a exploração da heterose por meio dos cruzamentos de raças taurinas e zebuínas, buscando genótipos mais produtivos e, ao mesmo tempo, resistentes às condições tropicais tem sido uma alternativa para melhorar a eficiência nos sistemas de produção de bovinos de corte. Nesta direção, destaca-se o uso de bovinos da raça Angus (Aberdeen Angus) nesse modelo de cruzamento.

Contudo, em condições tropicais, um bovino adulto pode absorver até 640 W m⁻² de energia térmica radiante quando expostos a radiação solar próximo ao meio dia (Silva et al., 2009), valor três vezes maior que a produção de calor de novilhas

Angus (Richardson et al. 2001). Esse fato, somado as elevadas temperaturas do ar podem impor desafios a termorregulação desses animais, resultando em aumento da temperatura retal e frequência respiratória (Blackshaw e Blackshaw, 1994; Collier et al., 2006); redução da ingestão alimentar (NRC, 1989; Collier et al., 2006); alteração no comportamento de pastejo (Azêvedo e Alves, 2009); prejuízos a reprodução (Roman-Ponce et al., 1977); diminuição na produção de calor metabólico, impactos negativos no sistema imunológico e alterações hormonais. Além desses prejuízos, o acionamento dos mecanismos de termorregulação induzem ao aumento das necessidades de energia para manutenção em 7 a 25% (NRC, 1981); esse fato, quando associado à uma menor ingestão de alimento, ocasionam diminuição na quantidade de energia retida, e conseqüentemente menor produtividade. Ademais, pesquisas realizadas para avaliar a termorregulação dos animais geralmente concentram-se em avaliações pontuais nos horários mais críticos do dia, não observando as oscilações das repostas do animal de forma contínua, uma vez que os elementos meteorológicos variam continuamente no tempo e no espaço, e muitas vezes os efeitos do estresse imposto pelo ambiente sobre o animal não é verificado instantaneamente, havendo um efeito cumulativo, como evidenciado por Sullivan et al. (2011).

As preocupações com o efeito do estresse térmico na produção animal são crescentes, pois as projeções climáticas indicam aumentos significativos na temperatura média global. De acordo com as projeções do quinto relatório de Avaliação das Mudanças do Clima do Planeta a temperatura global média poderá aumentar até 2°C (possível faixa 0,46°C a 2,6°C) até 2046 (IPCC, 2014). Esse fato deve-se ao aumento da concentração dos Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera, como o metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) e óxido nitroso (N₂O), atribuído ao crescimento das atividades antropogênicas. No Brasil, grande parte da emissão de metano entérico é atribuída a bovinocultura de corte devido ao tamanho expressivo do seu rebanho. Segundo dados da Estimativa Anual da Emissão de Gases de Efeito Estufa no Brasil (2014), no ano de 2012 o setor foi responsável por 75% das emissões de metano entérico e 37% do dióxido de carbono.

A emissão de metano entérico é influenciada por fatores como quantidade e qualidade do alimento ingerido (Primavesi et al., 2004), espécie animal (MCT, 2010), variando também em função do horário e temperatura (Lockyer, 1997) e sistema de

produção. Por outro lado, ainda existe uma grande variabilidade nos dados encontrados na literatura a respeito da emissão de metano; parte da imprecisão dos relatórios divulgados é decorrente da falta de dados específicos utilizados na confecção desses relatórios. Outra fonte de variação seria a grande quantidade de metodologias utilizadas para quantificar a emissão de metano pelos animais. Dessa forma, o desenvolvimento de mais pesquisas que forneçam dados consistentes para elaboração de relatórios mais precisos é imprescindível para desenvolvimento de políticas e medidas de mitigação dos GEEs pela pecuária.

1.2 REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1 Uma breve história sobre os bovinos

A domesticação dos bovinos, entre outros animais, bem como o desenvolvimento da agricultura foi um grande marco para evolução da humanidade. O fato transformou as populações de caçadores/coletores nômades em agricultores que passaram a dispor de grande quantidade de recursos, permitindo fixação, desenvolvimento e crescimento das populações, resultando na nossa atual sociedade (Ajmone-Marsan et al., 2010). Os principais atributos que levaram a domesticação desses animais foram a capacidade de se alimentarem de gramas e fornecimento de carne, couro, força/tração e, posteriormente com a co-evolução humano-animal os humanos adquiriram a capacidade de digerir a lactose (Beija-Pereira et al., 2003; Gerbault et al., 2011), tendo no leite interesse para alimentação.

Ao longo dos anos grandes esforços foram realizados por meio de pesquisas arqueológicas, paleontológicas e genéticas para investigar origem, domesticação, divergência e evolução desses animais. O gado selvagem, chamado auroque (*Bos primigenius*) é o ancestral dos bovinos modernos. Os primeiros indícios de sua domesticação datam de 8.000 a 10.000 aC. no Crescente Fértil. Utilizando análise de DNA mitocondrial dos bovinos, verificou-se que a divergência de taurinos e zebuínos é resultante de domesticação separada, primeiro com taurinos no Crescente Fértil, e depois o gado zebu no Vale do Indo, domesticado a partir de uma subespécie dos auroques, o *Bos primigenius namadicus* (Chen et al., 2010).

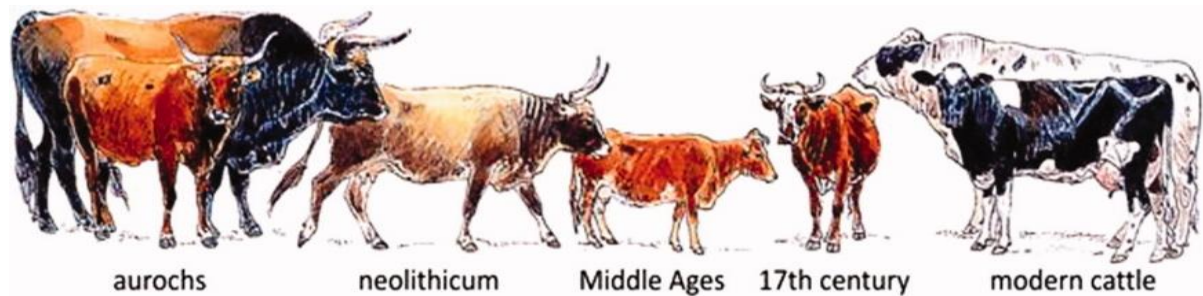


Figura 1: Modificações na morfologia dos bovinos ao longo de sua evolução. Fonte: Ajmone-Marsan et al. (2010).

O processo de domesticação separada ocasionou deriva genética (Loftus et al., 1994), além disso, o gado teve que se adaptar a presença humana, aos mais diversos tipos de habitats nas migrações junto com as populações/civilizações além de sofrerem seleção, o que ocasionou modificações no seu fenótipo, Figura 1 (Ajmone-Marsan et al., 2010; Hall, 2004). Dentre essas mudanças podemos citar a redução do tamanho e dos chifres, e/ou perda dos mesmo em alguns indivíduos (Garrick e Ruvinsky, 2014). Os *Bos taurus* migraram para a África e Europa, onde adaptaram-se ao clima temperado, já os *Bos indicus* foram domesticados no subcontinente indiano e migraram para o oeste e leste da Ásia e depois para África oriental (Garrick e Ruvinsky, 2014) desenvolvendo características que o fizeram mais adaptados as condições de clima tropical (sazonalidade na oferta de forragem, elevadas temperaturas com intensa radiação solar, presença de endo e ectoparasitas etc), predominando em regiões de baixa latitude (Tuner, 1980). Esse fato, fez com que muitas vezes esses animais fossem introduzidos em rebanhos taurinos, mesmo apresentando desempenho produtivo menor, afim de melhorar os atributos adaptativos.

A introdução dos bovinos no Brasil iniciou em 1534 com a Expedição de Martin Afonso de Souza trazendo o gado de Portugal para Ilha de São Vicente (São Paulo); no ano seguinte, Duarte Coelho importou gado para Capitania de Pernambuco; e em 1549, com a implantação do governo geral em Salvador, foi levada uma grande quantidade de bovinos de Cabo Verde somado com animais de Pernambuco. Dessa forma, estabeleceram-se esses centros de criação de bovinos, sendo posteriormente distribuídos para o restante do país (Egito et al., 2006). Esses animais adaptaram-se

e evoluíram as mais diversas condições ambientais, desenvolvendo características específicas aos diversos nichos ecológicos encontrados no Brasil, desenvolvendo diversas raças crioulas (Mariante e Egito, 2002).

Apesar de sua alta adaptabilidade e resistência, esses animais possuíam baixa produtividade, o que incentivou a busca por novas raças para melhorar a produtividade dos rebanhos nacionais. Dom Pedro I, foi quem estabeleceu o primeiro rebanho zebuino no Brasil, ao mesmo tempo, pequenas importações de animais zebu foram realizadas, porém, somente a partir de 1910 a entrada e multiplicação desses animais no país começou a aumentar (Egito et al., 2006). Inicialmente esses foram cruzados com as raças nativas, e devido sua boa adaptação e maior produtividade passaram a substituir os animais nativos (Ajmone-Marsan et al., 2010; Mariante e Egito, 2002; Mc Manus et al., 2009). Devido ao sucesso desses animais, hoje o Brasil detém o maior rebanho comercial de zebuínos, onde 80% do seu rebanho é constituído por *Bos indicus* e seus cruzamentos.

1.2.2 Sistema de produção de bovinos de corte

1.2.2.1 Cadeia produtiva

Com a globalização e abertura do mercado exterior na década de 90, a maior competitividade do mercado e exigências por um produto de melhor qualidade pressionaram o produtor a adotar novas tecnologias e melhorias no sistema de produção para aumentar a produtividade, eficiência e entregar um produto de melhor qualidade, as quais avanços no manejo nutricional, sanitário, melhoramento genético, técnicas de reprodução e outras estratégias para intensificação do sistema. Com isso, nos últimos 20 anos a bovinocultura de corte brasileira apresentou expressivo crescimento. No período de 1997 a 2017 o rebanho saiu de 161 para 221 milhões de animais, já a produção em toneladas de carcaça equivalente (TCE) aumentou 64% enquanto a área de pastagem reduziu em 11%. No ano de 2017 as exportações somaram 2 milhões de TCE, representando 3,2% das exportações brasileiras, movimentando aproximadamente R\$523,25 bilhões (ABIEC, 2018).

A produção brasileira é baseada em sistema de terminação à pasto, recurso alimentar de menor custo, fato que contribui para menor custo de produção, conferindo maior competitividade a carne brasileira no mercado externo. Contudo, as condições de clima tropical ocasionam uma oferta irregular de forragem, que podem apresentar baixos teores nutricionais. Dessa forma, por serem mais adaptados as regiões tropicais, bovinos zebuínos predominam nos sistemas de produção de carne brasileira, principalmente a raça nelore. Porém, apesar dos avanços e melhorias no sistema de produção, a maioria desses animais são alimentados exclusivamente com pastagem, sendo despendido pouco cuidado no manejo além do baixo potencial genético dos mesmos, elementos que somados resultam em baixos índices zootécnicos (elevada idade ao abate, intervalo de partos, taxa de lotação e desfrute etc.).

Bovinos taurinos apresentam melhor desempenho que os zebuínos, contudo, são originários de regiões de clima temperado, caracterizadas por menores níveis de irradiância solar e temperaturas do ar, limitando a introdução desses animais no Brasil devido sua baixa adaptação as condições de clima tropical, com exceção da região sul, que apresenta temperaturas mais amenas e forragens de melhor qualidade. O uso de cruzamentos industriais (*Bos indicus x Bos taurus*) é uma realidade importante e componente nos sistemas de produção de carne (Neto et al., 2011) Tais cruzamentos visam por meio da heterose obter animais com maior tolerância ao calor, melhor desempenho e atributos qualitativos da carne. Das raças europeias com maior contribuição nesses cruzamentos destaca-se a Aberdeen Angus. De fato, nos últimos anos a venda de sêmen dessa raça aumentou expressivamente, representando aproximadamente 50% das vendas de sêmen de bovinos de corte em 2017 (ASBIA, 2018). De origem escocesa, a raça é uma das mais utilizadas nos sistemas de produção de carne no mundo, devido suas características produtivas.

Outra prática que vem crescendo para intensificar o sistema de produção e melhoria dos índices é a terminação de animais em confinamentos. A estratégia é utilizada para reduzir a idade ao abate, atingir uma capa de cobertura de pelo menos 4 mm e manter a produção de carne estável durante os meses de seca. Desde 2000 o número de animais confinados cresceu 155%, e atualmente corresponde a aproximadamente 14% dos animais abatidos, sendo na maioria destinados à

exportação (ABIEC, 2019). As operações de confinamentos concentram-se principalmente nas regiões produtoras de grãos, como São Paulo, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul devido o menor custo dos grãos e a maior disponibilidade de subprodutos passíveis de utilização na alimentação animal. Destacando-se o uso de animais cruzados (Nelore x Angus) nesse sistema de terminação.

1.2.3 Termorregulação de bovinos de corte

Estimativas indicam que o rebanho mundial de bovinos é de aproximadamente 1,5 bilhões de animais, dentre esses, 65% localizados em regiões de baixas latitudes (Morgan e Talard 2007). Na grande maioria dos casos, esses animais são criados em pastagens ou confinados, e dificilmente dispõem de recursos para amenizar os efeitos do ambiente térmico. Sobretudo, bovinos de corte confinados, recebem dietas de elevado incremento calórico devido à alta densidade energética das mesmas, ademais, deparam-se com condições meteorológicas adversas que impõem desafios a sua termorregulação (Brown-Brandl et al., 2006). Ainda, a depender da época do ano, esses animais podem deparar-se com uma situação extremamente quente e seca, onde o piso/solo descoberto dos confinamentos absorve grande quantidade de radiação solar de ondas curtas, aquecendo e posteriormente emitindo essa radiação para os animais; ou em períodos de chuva encontram uma grande quantidade de lama e elevada umidade que pode dificultar as perdas de calor latente.

Segundo Brown-Brandl et al. (2004), fatores como animais de pelame escuro, ausência de sombra, elevada densidade animal e baixa disponibilidade de água nos bebedouros são pontos críticos que podem agravar ainda mais a situação térmica dos bovinos confinados. Dessa forma, a suscetibilidade desses animais as condições meteorológicas é um fato preocupante, que podem impor situações de elevado estresse, resultando em uma resposta fisiológica/comportamental para se adaptar à nova condição que resulta em declínio nos índices produtivos, bem-estar animal e rentabilidade do sistema, podendo levar a morte do animal.

Bovinos são considerados sistemas bioenergéticos, isso quer dizer que eles estão constantemente gerando e trocando energia com seu meio. Essas trocas térmicas ocorrem por meio dos mecanismos de transferência de calor e massa, os

quais, são regidos por leis físicas. Assim, aplicando a primeira lei da termodinâmica de conservação de energia, temos que a variação da quantidade de energia armazenada em um volume de controle deve ser igual à quantidade de energia que entra no volume de controle menos a quantidade de energia que deixa o volume de controle mais a quantidade de energia gerada no interior volume de controle, durante um intervalo de tempo, podendo ser expressa pela seguinte equação:

$$\Delta_{ACU} = E_G + E_N - E_S$$

onde Δ_{ACU} é a variação da energia acumulada durante um intervalo de tempo; E_N é a energia que entra no sistema; E_S é a energia que sai do sistema; E_G é a energia gerada no volume de controle. Aplicando a equação acima para um bovino, tem-se:

$$S + M + R_C \pm L \pm C_S - C_R \pm K - E_S - E_R = 0$$

onde M ($W m^{-2}$) é a taxa de produção de calor liberada nos processos metabólicos, S ($W m^{-2}$) é a energia térmica estocada pelo animal; R_C ($W m^{-2}$) é o ganho de calor através da radiação de ondas curtas, L , K , C_R e C_S ($W m^{-2}$) são as trocas de energia térmica por radiação de ondas longas, fluxo de calor por condução, por convecção respiratória e por convecção na superfície do pelame, respectivamente, E_S e E_R ($W m^{-2}$) são as perdas de calor latente através da evaporação cutânea e respiratória.

A energia térmica no corpo do animal em grande parte é gerada pelos processos metabólicos de manutenção do organismo, podendo ocorrer ganho de calor via radiação de ondas curtas e ondas longas a partir da vizinhança, especialmente em condições tropicais. Dessa forma, em determinados horários do dia, o calor produzido, mais o absorvido do meio ambiente pode exceder a capacidade termorregulatória do animal, que passa a estocar energia térmica, elevando sua temperatura interna (Silva, 2000). Portanto, maior adaptabilidade de um animal a ambientes de elevada carga térmica está diretamente relacionada com sua capacidade em manter o equilíbrio térmico.

Os *bos indicus*, foram domesticados, adaptaram-se e evoluíram em ambiente tropical, ficando mais resistentes as condições de elevados níveis de radiação,

temperatura do ar e a endo e ectoparasitas (Tuner, 1980). Contudo, quais características esses animais possuem que os tornam mais termotolerantes? Essa pergunta tem sido foco de diversos estudos (Finch, 1986; Hansen, 2004; Kliber e Brody, 1949; Gaughan et al., 1999; Camerero et al., 2016, de Melo Costa et al., 2017 e 2018). Alguns trabalhos têm demonstrado que os zebuínos apresentam menor desempenho produtivo em comparação com os taurinos, o que tem sido atribuído a menores taxas metabólicas, conseqüentemente menor produção de calor. Kibler e Brody (1949) relataram menor produção de calor metabólico para vacas Brahman em comparação com Jersey e Holandesas e o mesmo também foi observado por Johnston et al. (1958) para animais cruzados (Sindi x Holandes) em comparação com Holandês. Em estudos avaliando a termorregulação de bovinos de origem zebuína Camerero et al. (2017) e Melo et al. (2018) encontraram valores médio de metabolismo de 155 e 151 W m⁻² para as raças Guzerá e Nelore, respectivamente. Já para animais mestiços (taurinos) e da raça Angus, Brown-Brandl et al. (2003) e Richardson et al. (2001) encontraram valores de metabolismo da ordem de 180 e 212 W m⁻². Alguns autores relatam que essa menor taxa metabólica é decorrente de menor ingestão de alimento e tamanho reduzido dos órgãos digestórios (Kliber e Brody, 1949; Swett et al., 1961; Hansen 2005).

Também é interessante destacar que o nível metabólico do animal varia em função da raça, idade, categoria animal, ingestão de alimento e nível de produção. Historicamente, os animais sofreram forte pressão de seleção para aumentar o nível produtivo, conseqüentemente aumentando as exigências nutricionais e produção de calor. Por outro lado, a capacidade termorregulatória dos mesmos não foi levada em consideração, limitando sua plasticidade fenotípica (Collier et al., 2019; Kardezere 2000). Numa revisão sobre o estresse térmico em vacas leiteiras, Kardezere (2000) destaca a evolução da produção de leite nos Estados Unidos, onde em 1940 uma vaca produzia anualmente 2096 kg de leite em 300 dias de lactação, já em 1995 essa produção chegou a 7462 kg de leite; ao mesmo tempo, o incremento calórico da produção de leite também aumentou de 21,9 para 74,1 MJ dia⁻¹ e o peso médio dos animais também subiu. Dessa forma, com o aumento da produção de calor, esses animais dependem em maior grau da termorregulação para dissipar o excesso de

calor e ao mesmo tempo ficam mais sensíveis as flutuações do ambiente. O mesmo também é válido para as outras espécies animais, assim como para bovinos de corte.

A capacidade do animal remover o calor metabólico de forma eficiente é dependente da capacidade do animal em redirecionar o fluxo sanguíneo, condutância dos tecidos e diferencial de temperatura entre o núcleo e a superfície cutânea (Finch 1986; Silva 2008). Finch (1986) observou que a medida que a temperatura do ar aumentou (24 a 44 °C), bovinos *bos indicus* diminuíram a resistência dos tecidos para aumentar a transferência de calor para o ambiente, consequentemente estocando menor quantidade de energia térmica. Os resultados acerca da variação na temperatura retal de bovinos Zebuínos verificados por Camerero et al. (2017) e de Melo Costa et al. (2017, 2018) apoiam essa afirmativa, variando aproximadamente 0,5 °C em uma ampla faixa de temperatura do ar. Em contrapartida, Brown-Brandl et al. (2003) observaram variação de até 1,5°C na temperatura retal de bovinos taurinos. Uma provável justificativa para modificação da resistência dos tecidos está na maior capacidade dos zebuínos em redirecionar o fluxo sanguíneo dos órgãos centrais para superfície cutânea, além de possuírem maior quantidade de anastomoses arteriovenosas (Finch 1986; Hansen 2004; Silva e Maia 2013).

Outro aspecto que influencia fortemente as trocas térmicas do animal com o seu meio são as características da sua capa de cobertura, uma vez que esta é a fronteira entre o animal e sua vizinhança (Silva 1999; Silva e Maia 2013; Maia 2003; Maia 2009; Façanha 2010). Segundo Silva e Maia (2013), o pelame é o principal tipo de revestimento dos mamíferos. Os taurinos geralmente apresentam pelames mais densos, espessos e profundos, enquanto os zebuínos pelames de cor clara, formado por pelos curtos, grossos e bem assentados (Silva 1999; Collier e Gebremedin 2015), conferindo menor resistência ao fluxo de calor. Por outro lado, quando expostos a radiação solar de ondas curtas, o pelame dos *bos indicus* refletem a maior parte da radiação incidente (Finch 1986; Silva 2003). Silva et al. (2003) estudaram e discutiram as propriedades radiativas da capa de cobertura de diversas espécies. Conforme esses autores, o pelame do gado nelore (*bos taurus*) é composto por uma mistura de pelos brancos e escuros, resultando na cor acinzentada que apresenta maior refletância que um pelame exclusivamente branco, principalmente nos comprimentos de onda entre 300 e 570 µm. Esse tipo de superfície cutânea, fornece uma excelente

proteção contra radiação de ondas curtas, sendo destacadas por diversos autores como uma das principais vantagens adaptativas em relação aos taurinos (Silva et al., 2003; Hansen, 2005; Finch, 1986).

Além disso, pelames pretos apresentam elevada absorvância da radiação (Silva et al., 2003). dessa forma, esses animais absorvem uma maior carga térmica, elevando sua temperatura superficial, havendo um fluxo líquido de calor do pelame para epiderme. Na Figura 5 tem-se dois animais sob as mesmas condições ambientais às 13:00 horas, um de pelame escuro e outro de pelame acinzentado. É possível evidenciar diferença nas temperaturas superficiais e como esse fator pode agravar a situação de animais confinados sem acesso a sombra, como destacado por Brown-Brandl et al. (2003).

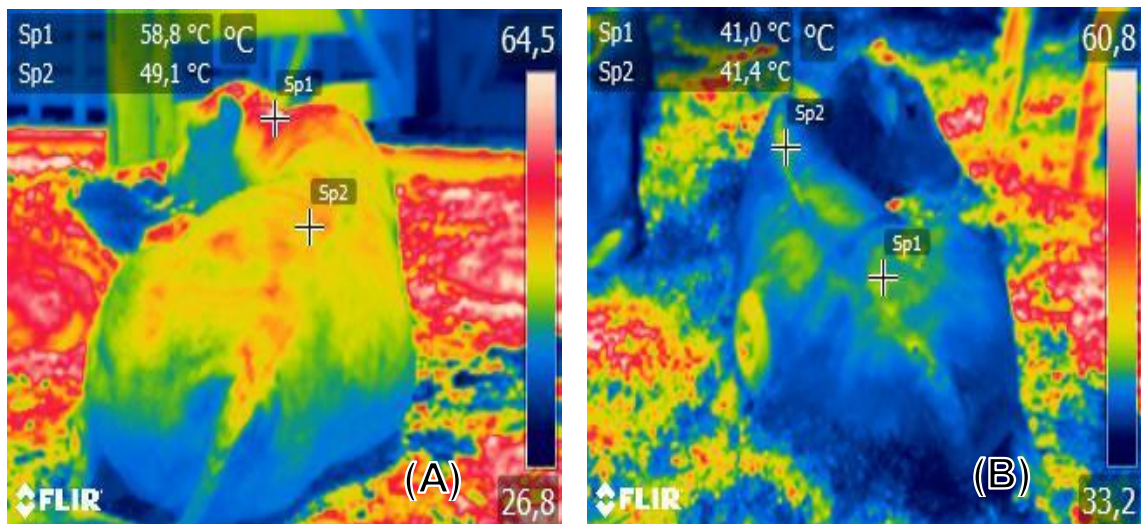


Figura 5: Temperaturas superficiais de bovinos expostos a radiação; (A) F1 (Nelore x Angus) com pelame preto; (B) Nelore com pelame acinzentado. (Arquivo pessoal)

Entendendo a importância da radiação no balanço de calor dos animais, Silva et al. (2009) quantificaram a radiação absorvida na superfície de vacas holandesas em condições de pastagem sem acesso a sombra. Os achados mostram que nessas condições uma vaca pode absorver até 640 W m^{-2} , valor que chega ser três vezes maior que a produção de calor metabólico desses animais, sendo que a radiação de ondas curtas contribuiu com menos da metade no balanço de calor e a radiação de ondas longas com 53,43%. Com isso, fica evidente a necessidade do fornecimento de

sombra para animais não estabulados, o que pode proporcionar uma redução de 30 a 50 % da carga térmica incidente sobre esses animais (Bond e Kelly 1955).

A medida que a temperatura do ar se eleva e a radiação contribui para o aumento da carga térmica, os mecanismos sensíveis passam a ter menor significância na termólise dos animais, dessa forma, a habilidade do animal em eliminar calor por vias latentes está relacionada com a capacidade do mesmo em suportar ambientes quentes (Finch et al., 1982; McLean 1963; Maia 2005; Silva et al., 2012). Os mecanismos latentes são a evaporação cutânea e respiratória, que dependem de um gradiente de pressão de vapor, onde o animal perde calor sensível que é utilizado para vaporizar a umidade/água na superfície cutânea e no trato respiratório do animal (Collier e Gebremedin, 2015).

Os bovinos possuem glândulas sudoríparas epitriquiaais, suas células produzem e armazenam o suor no lúmen, que após um estímulo é secretado no folículo piloso e para epiderme (Silva, 2000). A produção de suor de um animal depende do número de glândulas por unidade de área, do volume dessas e do seu estado funcional (Silva, 2008), dependendo também do fluxo sanguíneo que alimenta a glândula (Finch et al., 1986; Jhonson e Hales, 1986). Alguns estudos têm mostrado que a taxa de sudação está altamente relacionada com a temperatura da epiderme (Maia et al., 2005; Silva et al., 2012; Gebremedin et al., 2010).

Finch et al. (1982) avaliaram a taxa de sudação de animais Brahman, Shorthorn e mestiços (Shorthorn x Hereford x Brahman) e sua relação com o tempo despendido pastejando, verificando que animais com maior taxa de sudação gastaram mais tempo pastejando. Maia et al. (2005) estudaram as trocas térmicas de vacas holandesas em ambiente tropical. Conforme seus achados, numa faixa variação de temperatura de 10 a 20°C as perdas evaporativas representaram 20 – 30% da termólise, contudo, com aumento da temperatura e diminuição do gradiente de temperatura a evaporação chegou a representar 85% das perdas de calor, sendo responsável por dissipar até 350 W m⁻² quando a temperatura do ar atingiu 36°C. Em contrapartida, Melo et al. (2017, 2018) encontraram valores máximos de 60 e 85 W m⁻², num intervalo de temperatura de 20 a 35 °C, para bovinos da raça Nelore. Esses resultados inferiores podem ser em função do menor metabolismo e resistência dos tecidos ao fluxo de calor, havendo maior eficiência dos mecanismos sensíveis mesmo sob elevadas

temperaturas, ocorrendo uma menor necessidade em recrutar mecanismos latentes para dissipar o excesso de calor. Por outro lado, Gebremedhin et al., (2008) encontrou valores de $522 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ para novilhas angus expostas a radiação; e Scharf et al. (2010) também encontraram valores semelhantes com temperatura do ar por volta dos 34°C .

Para aumentar as perdas evaporativas via respiração os animais aumentam sua frequência respiratória, diminuindo o volume corrente e aumentando a ventilação no trato respiratório superior (Collier e Gebremedin, 2015), com isso, a mesma tem sido frequentemente a utilizada como um indicativo do estresse térmico em bovinos (Gaugahran et al., 1999). Brown-Brandl et al. (2003) verificou que a frequência respiratória de bovinos mestiços (taurino) aumentou de 55,6 para 106 mov min^{-1} quando a temperatura subiu de 18 para 30°C . Finch et al. (1986) afirma que o trato respiratório é responsável por dissipar aproximadamente 15% do calor metabólico de bovinos de corte. Em contrapartida, De Melo Costa et al. (2017 e 2018) mostraram que bovinos nelore apresentam uma grande estabilidade na frequência e volume respiratório, mesmo numa variação de temperatura de 20 a 35°C , com média de 19 resp min^{-1} e $2,17 \text{ L s}^{-1}$, representando apenas 3 % do calor metabólico; resultado similares foram encontrados por Camerero et al. (2017).

1.3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

As diferenças entre os *Bos taurus* e *Bos indicus* é oriunda de uma domesticação separada em ambientes diferentes, resultando em características genéticas particulares de acordo com cada local. No Brasil, há uma predominância de animais zebuínos devido a sua maior termotolerância, contudo, nas duas últimas décadas observou-se um crescimento expressivo da utilização de animais de origem taurina em cruzamentos industriais. Esses, têm como objetivo obter animais adaptados e com melhores índices produtivos. Contudo a suscetibilidade desses animais aos elementos meteorológicos pode impor uma situação de estresse, resultando em prejuízos ao bem-estar, redução da produtividade e rentabilidade dos sistemas de produção. E não há na literatura informações a respeito da termorregulação de bovinos da raça Angus, ou do seu cruzamento com o Nelore em ambiente tropical.

Além disso, com o aumento populacional e mudanças climáticas o sistema de produção animal sofre grande pressão para aumentar sua produtividade e reduzir os impactos ambientais. Contudo, ainda há grandes incertezas com relação aos valores divulgados nos inventários sobre emissão de metano entérico, devido à falta de dados de entrada, necessitando de mais dados/pesquisas de campo para suprir essa deficiência.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Descrever o equilíbrio térmico e emissão de metano entérico de bovinos cruzados ($\frac{1}{2}$ Angus x $\frac{1}{2}$ Nelore) em ambiente tropical.

1.4.2 Objetivos Específicos

Quantificar a proporção dos gases respiratórios (O_2 , CO_2 e CH_4) bovinos cruzados ($\frac{1}{2}$ Angus x $\frac{1}{2}$ Nelore) e sua relação com o ambiente térmico;

Quantificar a emissão de metano entérico ($g\ h^{-1}$) de bovinos cruzados ($\frac{1}{2}$ Angus x $\frac{1}{2}$ Nelore);

Verificar a influência das variáveis meteorológicas sobre as respostas fisiológicas temperatura de superfície do pelame, pele, ar expirado e retal de bovinos cruzados ($\frac{1}{2}$ Angus x $\frac{1}{2}$ Nelore);

Determinar o equilíbrio térmico de bovinos cruzados ($\frac{1}{2}$ Angus x $\frac{1}{2}$ Nelore) por meio da produção de calor metabólico, fluxos sensíveis e latentes de bovinos cruzados ($\frac{1}{2}$ Angus x $\frac{1}{2}$ Nelore).

1.5 REFERÊNCIAS

Ajmone-Marsan, P; Garcia, J. F.; Lenstra, J. On the origin of cattle: How aurochs became cattle and colonized the world. **Evolutionary Anthropology**, v. 19, 2010. Disponível em: < <https://doi.org/10.1002/evan.20267>>

Andrade, E. A.; Almeida, E. X.; Raupp, G. P; Miguel, M. F.; De Luiz, D. M.; Carvalho, P. C.; Bayer, C.; Ribeiro-Filho, H. M. Herbage intake, methane emissions and animal performance of steers grazing dwarf elephant grass v. dwarf elephant grass and peanut pastures. **Animal**, 2016. Disponível em: < doi:10.1017/S1751731116000628>

Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes – **ABIEC**, 2019. Perfil da pecuária no Brasil. Disponível em: <<http://www.abiec.com.br/PublicacoesLista.aspx>>. Acessado em 16/02/2019.

Associação Brasileira de Inseminação Artificial – **ASBIA**, 2018. Index ASBIA, 2018. Disponível em: < http://www.asbia.org.br/wp-content/uploads/2018/10/INDEX-ASBIA-2017_completo.pdf>. Acessado em 17/02/2019.

Azevêdo, D. M. M. R.; Alves, A. A. **Bioclimatologia aplicada à produção de bovinos leiteiros nos trópicos**. Teresina, PI: Embrapa Meio-Norte, 2009. 83 p.

Beja-Pereira, A., Alexandrino, P., Bessa, I., Carretero, Y., Dunner, S., Ferrand, N., Jordana, J., Laloe, D., Moazami-Goudarzi, K., Sanchez, A. and Canon, J. Genetic characterization of southwestern European bovine breeds: a historical and biogeographical reassessment with a set of 16 microsatellites. **Journal of Heredity**, V. 94, 2003. Disponível em: < DOI: 10.1093/jhered/esg055>.

Blackshaw, J. K.; Blackshaw, A. W. Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 34, 1994.

Bond, T. E., Kelly, C. F. The globe thermometer in agricultural research. **Argic. Eng.**, v. 36, 1955.

Bradley, D. G.; Loftus, R. T.; Cunningham, P.; Machugh, D. E. Genetics and domestic cattle origins. **Evolutionary Anthropology**, 1998. Disponível em: <[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6505\(1998\)6:3<79::AID-EVAN2>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6505(1998)6:3<79::AID-EVAN2>3.0.CO;2-R)>

Brouwer, E. In Energy Metabolism. [K. L. Blaxter, editor]. London: **Academic Press**. Weast, R. C. (editor) (1970-1). The Handbook of Chemistry and Physics. 51st ed. Cleveland, Ohio: Weir, J. B. de V.(1949). J. Phyd., Land. 109, p. 41, 1965.

Brown-Brandl, T. M.; Eigenberg, R. A.; Hahn, G. L.; Nienaber, J. A.; Mader, T. L.; Spiers, D. E.; Parkhurst, A. M. Analyses of thermoregulatory responses of feeder cattle exposed to simulated heat waves. **Int J Biometeorol**, v. 49, 2005. Disponível em: < DOI 10.1007/s00484-004-0250-2>

- Brown-Brandl, T. M.; Nienaber, J. A.; Eigenberg, R. A.; Hahn, G. L.; Freetly, H. Thermoregulatory responses of feeder cattle. **Journal of Thermal Biology**, v. 28, 149–157, 2003.
- CAMERRO, L. Z. Processo de Condicionamento e Avaliação do Equilíbrio Térmico de Bovinos Guzerá. 2016. 58f. **Dissertação** (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2016.
- Camerro, L. Z.; Maia, A. S. C.; Neto, M. C.; Costa, C. C. M.; Castro, P. C. Thermal equilibrium responses in Guzera cattle raised under tropical conditions. **Jornal of Thermal Biology**, v. 60, p. 213-221, 2016.
- Carvalho, M. D. Equilíbrio Térmico e Emissão de Metano em Vacas Jersey 2015. 65f. **Dissertação** (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2015.
- Chan, E. K. F.; Nagaraj, S. H., Reverter, A. The evolution of tropical adaptation: comparing taurine and zebu cattle. **Animal Genetics**, 2010. Disponível em: < doi: 10.1111/j.1365-2052.2010.02053.x>
- Charmley, E.; Williams, S. R. O.; Moate, P. J.; Hegarty, R. S.; Herd, R. M.; Oddy, V. H.; Renyenga, P.; Staunton, K. M.; Anderson, A.; Hannah, M. C. A universal equation to predict methane production of forage-fed cattle in Australia. **Animal Production Science**, v. 56, 2015. Disponível em: < http://dx.doi.org/10.1071/AN15365>
- Collier, R. J.; Baumgard, L. H.; Zimelman, R. B.; Xiao, Y. Heat stress: physiology of acclimation and adaptation. **Animal Frontiers**, v. 9, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/af/vfy031>
- Coolier, R. J.; Dahl, G. E.; Vanbaale, M. J. Major Advances Associated with Environmental Effects on Dairy Cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 89, p. 1244-53, 2006.
- De Melo Costa, C. C. Estudo do Equilíbrio Térmico Associado à Emissão de CH₄ Em Bovinos Nelore Manejados a Campo Durante o Período de 24 Horas. 2018. 110f. **Tese** (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2018.
- De Melo Costa, C. C.; Maia, A. S. C.; Brown-Brandl, T. M.; Chiquitelli Neto, M.; Fonsêca, V. F. C. Thermal equilibrium of Nelore cattle in tropical conditions: an investigation of circadian pattern. **Journal of Thermal Biology**. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.04.014>
- De Melo Costa, C. C.; Maia, A. S. C.; Nascimento, S. T.; Nascimento, C. C. N.; Chiquitelli Neto, M.; Fonsêca, V. F. C. Thermal balance of Nelore cattle. **International Journal of Biometeorology**. 2017. Disponível em: <DOI 10.1007/s00484-017-1349-6>

Deighton, M. H.; Williams, S. R. O.; Hannah, M. C.; Eckard, R. J.; Boland, T. M.; Wales, W. J.; Moate, O. J. A modified sulphur hexafluoride tracer technique enables accurate determination of enteric methane emissions from ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v. 197, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.08.003>>

Egito, A. A.; Mariante, A. S.; Albuquerque, M. S. M.; Cavalcante, N.; Paiva, S.R.; Castro, S. T. R. Animais do descobrimento: raças domésticas da história do Brasil. **Embrapa**, 2 ed., 2006.

Estimativa Anual da Emissão de Gases de Efeito Estufa no Brasil. **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação**, 2 ed, Brasília, 2015, p. 168.

Façanha, D. A. E.; Silva, R. G.; Maia, A. S. C.; Guilhermino, M. M.; Vascomcelos, A. M. Variação anual de características morfológicas e da temperatura de superfície do pelame de vacas holandesas em ambiente semiárido. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, 2010.

Ferrerira, A. L. Exigências nutricionais de energia de bovinos machos F1(Holandês x Gir) determinadas pelas metodologias de abates comparativos e respirometria calorimétrica. 2014. 112f. **Tese** (Doutorado em Zootecnia) – Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

Finch, V. A. Body temperature in Beef Cattle: Its Control and Relevance to Production in the Tropics. **J. Anim. Sci.** v. 62, 1986.

Finch, V. A., BENNETT, I. L., HOLMES, C. R. Sweating response in cattle and its relation to rectal temperature, tolerance of sun and metabolic rate. **J. Agric. Sci.**, v. 99, 1982

Finch, V. A.; BENNETT, I. M.; HOLMES, C. R. Coat colour in cattle: Effect on thermal balance, behaviour and growth, and relationship with coat type. **The Journal of Agricultural Science**, v. 102, p. 141-147, 1984.

Finch, V. A.; Comparison of non-evaporative heat transfer in different cattle breeds. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 36, p. 497-508, 1985.

FONSÊCA, V. F. C. Termorregulação de ovinos Morada Nova. 2016. 112f. **Tese** (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2016.

Gardner, T. D.; Coleman, M. D.; Innocenti, F.; Tompkins, J.; Connor, A.; Gransworthy, P. C.; Moorby, J. M.; Reynolds, C. K.; Waterhouse, A.; Wills, A. Determination of the absolute accuracy of UK chamber facilities used in measuring methane emissions from livestock. **Measurement**, v. 66, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.02.029>>

Garrick, D. J.; Ruvinsky A. The Genetics of Cattle. Boston, USA: **CAB International**, 2ed, 2014.

Gaughan, E. B.; Mader, T. L.; Holt, S. M.; Josey, M. J.; Rowan, K. J. Heat Tolerance of Boran and Tuli Crossbred Steers. **J. Anim. Sci.**, v. 77, 1999.

Gebremedhin, k. g.; lee, c. n.; hillman, p. e.; collier, r. j. Physiological Responses of Dairy Cows during Extended Solar Exposure. **Transactions of the ASABE**, 53(1): 239-247. 2010. Disponível em: <doi: 10.13031/2013.29499>

Gebremedhin, K. G.; Hillman, P. E.; Lee, C. N.; Collier, R. J.; Willard, S. T.; Arthington, J. D.; Brown-Brandl, T. M. Sweating Rates of Dairy Cows and Beef Heifers in Hot Conditions. **Transactions of the ASABE**, 2008.

Gerbault, P., Liebert, A., Itan, Y., Powell, A., Currat, M., Burger, J., Swallow, D.M. and Thomas, M.G. Evolution of lactase persistence: an example of human niche construction. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, 2011. Disponível em: < doi: 10.1098/rstb.2010.0268.>.

Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G. 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)**, Rome.

Grainger, C.; Clarke, T.; Mcginn, S. M.; Auldish, M. J.; Beauchemin, K. A.; Hannah, M. C.; Waghorn, G. C.; Clark, H.; Eckard, R. J. Methane Emissions from Dairy Cows Measured Using the Sulfur Hexafluoride (SF6) Tracer and Chamber Techniques. **Jornual Dairy Science**, 2007. Disponível em: < doi:10.3168/jds.2006-697>

Hall, S.J.G. Livestock Biodiversity: Genetic Resources for the Farming of the Future. **Wiley-Blackwell**, 2004.

Hammond, K. J.; Crompton, L. A.; Bannink, A.; Dijkstra, J.; Yanez-Ruiz, D. R.; Kiely, P. O.; Kebread, E.; Eugene, M. A.; Yu, Z.; Shingfield, K. J.; Schwarm, A.; Hristov, A. N.; Reynolds. Review of current in vivo measurement techniques for quantifying enteric methane emission from ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v. 219, 2016. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.02.008>

Hammond, K. J.; Humphries D. J.; Crompton, L. A.; Green, C.; Reynolds, C. G. Methane emissions from cattle: Estimates from short-term measurements using a GreenFeed system compared with measurements obtained using respiration chambers or sulphur hexafluoride tracer. **Animal Feed Science and Technology**, v. 203, 2015. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.02.008>

Hansen, J. P. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. **Animal Reproduction Science**, p. 359-360, 2004.

Haque, M. N.; Madsen, C. C. J. Estimation of methane emission using the CO₂ method from dairy cows fed concentrate with different carbohydrate compositions in automatic milking system. **Livestock Science**, 2014. Disponível em: < http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2014.03.004>

Harvey, W. R. Least-squares analysis of data with unequal subclass numbers. Beltsville: **USDA publ.**, n. 20-8, 1960.

Hegarty, R. S.; Goopy, J. P.; Herd, R. M.; McCorkell, B. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. **Jornual of Animal Science**, 2007. Disponível em: <doi:10.2527/jas.2006-236>

Hook, S.E.; Wright A-D.G.; McBride B.W. Methanogens: methane producers of the rumen and mitigation strategies. **Archaea**, p.1-11, 2010.

HUHTANEN, E. H.; CABEZAS-GARCIA, E. H.; UTSUMI, S.; ZIMMERMAN, S. Comparison of methods to determine methane emission from dairy cows in farm conditions. **Jornual Dairy Science**, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-9118>>

Hunter, R.A., Siebert, B.D., 1985. Utilization of low-quality roughage by *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. 1. Rumen digestion. **Br. J. Nutr.** 53, 637–648.

Incropera, F. P.; Dewitt, D. P. Fundamentos de Transferência de Calor e Massa. **Rio de Janeiro: JCCeditora** 4. Ed. p. 494, 1998.

Intergovernmental Panel On Climate Change – **IPCC, 2018**. Global Warming of 1.5 °C. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/sr15/>>. Acessado em 17/02/2019.

Intergovernmental Panel On Climate Change - IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report**.

IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – **Guidelines, 1996**. Disponível em: <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>>. Acessado em 17/02/2019.

Johnson, K. A. Johnson and Johnson, D. E. Methane emissions from cattle. **Jornual of Animal Science**, 1994.

Johnston, J.E.; Hamblin, F.B.; Schrader, G.T. Factors concerned in the comparative heat tolerance of Jersey, Holstein, and Red Sindhi-Holstein (F1) cattle. **J. Anim. Sci.** 17, 473–479, 1958.

Kibler, H. H. E Bordy, S. Influence of Temperature, 50 ° to 5 ° F and 50 ° to 95 ° F, on Heat Production and Cardiorespiratory Activities of Dairy Cattle. **Environmental Physiology**, v. 450, 1949.

Kleiber, M. Fire of Life: An Introduction to Animal Energetics. Publisher: **Krieger Publishing Company**, October, 1972.

Krinninger Iij, C.E., Block, J., Al-Katanani, Y.M., Rivera, R.M., Chase Jr., C.C., Hansen, P.J., 2003. Differences between Brahman and Holstein cows in response to estrous

synchronization, superovulation and resistance of embryos to heat shock. changes in inhibitory effects of arsenic and heat shock on growth of preimplantation bovine embryos. **Mol. Reprod. Dev.** 63, 335–340.

Lage, J. F.; San Vito, E.; Reis, R. A.; Dallantonia, E. E.; Simonetti, L. R.; Carvalho, I. P. C.; Berndt, A.; Chizzotti, M. L.; Friguetto, R. T. S.; Berchielli, T. T. Methane emissions and growth performance of young Nellore bulls fed crude glycerine- v. fibre-based energy ingredients in low or high concentrate diets. **The Journal of Agricultural Science**, v. 154, 2016. Disponível em: < doi:10.1017/S002185961600037X >

Linghton, J.R.B. Measuring metabolic rates: A manual for scientists. New York: **Oxford University Press**, p. 201. 2008.

Littell, R. C.; Milliken, G. A.; Stroup, W. W.; Wolfinger, R. D.; Schabenberg, O. SAS for Mixed Models, Seconded. SAS Institute Inc, **Cary, NC**, 2006.

Littell, R.C.; Freund, R.J.; Spector, P.C. SAS® System for Linear Models, Third Edition, Cary, NC: **SAS Institute Inc.**, p. 329, 1991.

Lockyer, D. R. Methane emissions from grazing sheep and calvez. **Agricultural Ecology & Environment**, v. 66, p. 11-18, 1997.

Maia, A. S. C.; Silva, R. G.; Andrade, P. C. Efeitos da temperatura e da movimentação do ar sobre o isolamento térmico do velo de ovinos em câmara climática. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, 2009.

Maia, A. S. C.; Silva, R. G.; Bertipaglia, E. C. A. Características do pelame de vacas holandesas em Ambiente Tropical: Um estudo Genético e Adaptativo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, 2003.

Maia, A.S.C.; Nascimento, S.T.; Carvalho, M.D.; Fonsêca, V.F.C.; Pinheiro, M.G. **Enteric methane emission of Jersey dairy cows: an investigation on circadian pattern**. In Proceedings of the 21st International Congress of Biometeorology, 3-6 September 2017, Durham, United Kingdom, pp. 100–104.

Maia, A.S.C.; Silva, R.G.; Loureiro, C.M.B. Respiratory heat loss of Holstein cows in a tropical environment. **International Journal of Biometeorology**, v,49, n,5, p,332-336, 2005a.

Maia, A.S.C.; Silva, R.G.; Loureiro, C.M.B. Sensible and Latent Heat Loss from the Body Surface of Holstein Cows in a Tropical Environment. **International Journal of Biometeorology**, v,50, n,1, p. 17-22, 2005b.

Mariante, A. S.; Egito, A. A. Animal Genetic Resources in Brazi: Result of Five Centuries of Natural Selection. **Theriogenology**, v. 57, 2002. Disponível em: < [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(01\)00668-9](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(01)00668-9) >

Mc LEAN, J. A. Measurement of cutaneous moisture vaporization from cattle by ventilated capsules. **The Journal of Physiology**, v. 167, p.417–426, 1963.

Mc LEAN, J.A. On the calculation of heat production from open-circuit calorimetric measurements. **British Journal of Nutrition**. p. 597–600, 1972.

McManus, C.; Prescott, E.; Paludo, G. R.; Bianchini, E.; Louvandini, H.; Mariante, A. S. Heat tolerance in naturalized Brazilian cattle breeds. **Livestock Science**, 120, 256–264, 2009. Disponível em: <doi:10.1016/j.livsci.2008.07.014>

Ministério da Ciência e Tecnologia – **MCT, 2015**. Emissões de Metano por Fermentação Entérica e Manejo de Dejetos de Animais, Relatórios de Referência: Agricultura, 3º Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2015. Disponível em: < <http://sirene.mcti.gov.br/publicacoes> >. Acessado em 17/02/2019.

Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT. Segunda comunicação nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília: **Ministério da Ciência e Tecnologia**, v 2. 2010.

Morgan, N. & Tallard, G. Cattle and Beef International Commodity Profile. **Background paper for the Competitive Commercial Agriculture in Sub Saharan Africa (CCAA) Study**, 2007. Disponível em: <http://siteresources.worldbank.org/INTAFRICA/Resources/2579941215457178567/Cattle_and_beef_profile.pdf>

Nascimento, C. C. N.; Espirometria na Avaliação do Sistema Respiratório de Ruminantes em Ambiente Tropical. 2015, 95f. **Tese** (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2015b.

Nascimento, S. Modelagem do Equilíbrio Térmico de Frangos de Corte: Um Estudo da Geração e Transferência de Calor. 2016, 167f. **Tese** (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2016b.

National Research Council – NRC, 1981. Effect of environment on nutrient requirements of domestic animals. Washington, **National Academy Press, Washington, DC**.

National Research Council - NRC, 1989. In: 6th Revised Edition Update. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. **National Academy Press**, Washington, DC.

National Research Council – NRC, 2000. Nutrient requirements of beef cattle. 8th edition, revised. Washington, D.C.: **National Academic Press**, 2016. 494 p.

Neto, O. R. M., Ladeira, M. M.; Gonçalves, T. M.; Lopes, L. S.; Oliveira, D. M.; Lima, R. R. Performance and carcass traits of Nellore and Red Norte steers finished in

feedlot. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 5, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982011000500020>>

Oliveira, L. F., Ruggieru, A. C., Branco, R. H., Cota, O. L., Canesin, R. C.; Costa, H. J. U.; Mercadante, M. E. Z. Feed efficiency nad enteric methane production of Nellore cattle in the feedlot on pasture. **Animal production Science**, 2016. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1071/AN16303>>

Oliveira, S. E. O. Efeito da Radiação Solar no Comportamento de Vacas Holandesas em Ambiente Tropical, 2013. 56f. **Dissertação** (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2013.

Oliveira, S. E. O.; Costa, C. C. M.; Souza Jr, J. B. F.; Queiroz, J. P. F.; Maia, A. S. C.; Costa, L. L. M. Short-wave solar radiation level willingly tolerated by lactating Holstein cows in an equatorial semi-arid environment. **Tropical Animal Health Production**, 2014.

Oss, D. B.; Marcondes, M. I.; Machado, F. S.; Pereira, L. G. R.; Tomich, T. R.; Ribeiro Jr, O.; Chizzotti, M. L.; Ferreira, A. L.; Campos, M. M.; Mauricio, R. M.; Chaves, A. V.; Mcallister, T. A. An evaluation of the face mask system based on short-term measurements compared with the sulfur hexafluoride (SF₆) tracer, and respiration chamber techniques for measuring CH₄ emissions. **Animal Feed Scienc and Technology**, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.03.008>>

Primavesi, O.; Frighetto, R. T. S.; Pedreira, M. S.; Lima, M. A.; Berchielli, T. T.; Barbosa, P. F. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 3, p. 277-283, 2004.

reay, d. s.; smith, p.; christensen, t. r.; james, r. h.; clark, h. Methane and Global Environmental Change. **Annual Review of Environmente and Resources**, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102017-030154>>

Reid, C.R., Bailey, C.M., Judkins, M.B., 1991. Metabolizable energy for maintenance of beef-type *Bos taurus* and *Bos indicus* x *Bos taurus* cows in a dry, temperate climate. **J. Anim. Sci.** 69, 2779–2786.

Richardson, E. C.; Herd, R. M.; Oddy, V. H.; Thompson, J. M., Archer, J. A.; Arthur, P. F. Body composition and implications for heat production of Angus steer progeny of parents selected for and against residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 41, p. 1065-1072, 2001.

Rodrigues, R. T. S.; Chizzotti, M. L.; Vital, C. E.; Baracat-Pererira, M. C.; Barros, E.; Busato, K. C.; Gomes, R. A.; Ladeira, M. M.; Martins, T. S. Differences in Beef Quality between Angus (*Bos Taurus Taurus*) and Nellore (*Bos Taurus indicus*) Cattle through a Proteomic and Phosphoproteomic Approach. **Plos one**, 2017.

Roman-Ponce, H.; Thatcher, W. W.; Buffington, D. E.; Wilcox, C. J.; Van Horn, H. H. Physiological and production responses of dairy cattle to a shade structure in a subtropical environment. **Journal of Dairy Science**, v. 60, 1997.

San Vito, E.; Lage, J. F.; Messana, J. D.; Dallantonia, E. E.; Frighetto, R. T. S.; Reis, R. A.; Neto, A. J.; Berchielli, T. T. Performance and methane emissions of grazing Nellore bulls supplemented with crude glycerin. **J. Anim. Sci.**, 2016. Disponível em: <doi:10.2527/jas2016-0530>

Silva, R. G. Atmosfera. In:_____. (Ed.). **Biofísica ambiental**. Os animais e seu ambiente. Jaboticabal: Funep, 2008, p. 15-49.

Silva, R. G. Estimativa do balanço térmico por radiação em vacas holandesas expostas ao sol e à sombra em ambiente tropical. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 28, p. 1403-1411, 1999.

Silva, R. G. Um Modelo para a Determinação do Equilíbrio Térmico de Bovinos em Ambientes Tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, p. 1244-1252, 2000.

Silva, R. G.; Gilhermino, M. M.; Morais, D. A. E. F. Thermal radiation absorbed by dairy cows in pasture. **International Journal Biometeorol**, v. 54, p. 5-11, 2009.

Silva, R. G.; Jr Scala, N. L.; Tonhati, H. Radiative Properties of the Skin and Haircoat of Cattle and Other Animals. **American Society of Agricultural Engineers**, v. 46, p. 913-918, 2003.

Silva, R. G.; Maia, A. S. C. Principles of animal biometeorology. New York: **Springer**, 2013.

Silva, R. G.; Maia, A. S. C.; Costa, L. L. M.; Queiroz, J. P. A. F. Latent heat loss of dairy cows in an equatorial semi-arid environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 56, p. 927-932, 2012.

Silveira Pontes, L., Barro, R. S.; Savian, J. V.; Bernedt, A.; Moletta, J. M.; Silva, V. P.; Bayer, C.; Carvalho, P. C. F. Performance and methane emissions by beef heifer grazing in temperate pastures and in integrated crop-livestock systems: The effect of shade and nitrogen fertilization. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.009>

Sistema de Estimativa de Emissão de Gases do Efeito Estufa – **SEEG, 2018**. Emissões do Setor de Agropecuária – Período 1970 – 2015. Coordenação Técnica, IMAFLORA - Instituto de manejo e certificação florestal e agrícola. Documento de análise, 2017. Disponível em <http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2017/08/Relatorios-Seeg-2017-Agro_final.pdf>

St-Pierre, N. R.; Cobanov, B.; Schnitkey, G. Economic Losses from Heat Stress by US Livestock Industries. **Jornual Dairy Scienc**, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74040-5>

sullivan, m. l.; cwadell-smith, a. j.; mader, t. l.; gaughan, j. g. Effect of shade area on performance and welfare of short-fed feedlot cattle. **American Society of Animal Science**, v. 89, p. 2911-2925, 2011.

Swett, W.W.; Matthews, C.A.; Mcdowell, R.E. Sindhi-Jersey and Sindhi Holstein crosses: their external form and internal anatomy compared with those of purebred Jerseys and Holsteins. **Tech. Bull. USDA**, 1961.

Tuner, J. W. Genetic and Biological Aspects of Zebu Adaptability. **Jornual of Animal Science**, v. 50, 1980.

womack, j e. Bovine Genomics. Oxford, Reino Unido: **Wiley-Blackwell**, 2013. Disponível em: < DOI 10.3389 / fgene.2012.00275 >

Zhao, C.; Liu, B.; Piao, S.; Wang, X.; Lobell, D. B.; Huang, Y.; Huang, M.; Yao, Y.; Bassu, S.; Ciais, P.; et al. Temperature Increase Reduces Global Yields of Major Crops in Four Independent Estimates. **Proc Natl Acad Sci USA**, 2017. Disponível em: < <https://doi.org/10.1073/pnas.1701762114> >

2 CAPÍTULO 2 – Respostas Fisiológicas e Equilíbrio Térmico de Bovinos Cruzados (½ Nelore x ½ Angus) em Ambiente Tropical

Pontos chave:

- Aumento expressivo na utilização de cruzamentos industriais na última década, sobretudo entre as raças Nelore x Aberdeen Angus;
- Os cruzamentos industriais entre *Bos indicus* x *Bos taurus* podem melhorar a adaptabilidade ao ambiente tropical?;
- Na literatura não existem dados a respeito do equilíbrio térmico e respostas fisiológicas de bovinos Aberdeen Angus, muito menos do seu cruzamento com o Nelore criados em ambiente tropical;
- As condições de ambiente tropical podem impor desafios a termorregulação desses animais?

Resumo:

Objetiva-se avaliar termorregulação e emissão de metano de bovinos cruzados (½Nelore x ½Aberdeen Angus). O trabalho foi conduzido no Laboratório de Bioclimatologia Animal da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), campus de Jaboticabal. Doze bovinos F1 (½Nelore x ½Aberdeen Angus), não castrados, com 36 meses e peso médio de 606 ± 6 Kg, foram distribuídos aleatoriamente em um quadrado latino 12×12 para avaliações das respostas fisiológicas das 06:00 às 18:00 durante doze dias, protegidos da radiação solar e chuva. Temperatura do ar (T_A , °C), umidade relativa (UR, %) radiação solar (RS , $W m^{-2}$), velocidade do vento (V_v , $m s^{-1}$) e temperatura radiante média a sombra (TRM_{SOM} , °C) foram registradas. A proporção dos gases respiratórios (oxigênio, O_2 %; gás carbônico, CO_2 %) pressão de saturação do ar expirado e da cápsula ventilada ($P_{S\{T_{EXP}\}}$ e $P_{S\{T_{EP}\}}$, KPa), frequência respiratória (F_R , respirações min^{-1}) e volume respiratório (V_E , $L s^{-1}$); temperatura da epiderme (T_{EP} , °C), pelame (T_s , °C), retal (T_R ,

°C) e do ar expirado (T_{EXP} , °C) foram registradas por meio de um sistema de medidas fisiológicas e calorimetria indireta. A T_A teve variação de 14,42 °C ($16,27 \pm 0,19$ a $31,13 \pm 0,30$ °C), a TRM_{SOM} 21 °C ($16,27 \pm 0,19$ a $31,13 \pm 0,30$ °C) e a UR de 46 % ($73,79 \pm 0,59$ a $27,17 \pm 1,05$ %). Os animais apresentaram um metabolismo médio de 215 W m^{-2} , com T_R variando de 39,03 a 39,62 °C e T_{EP} superior a T_S , com uma pequena variação ao longo do dia. Quando a temperatura do ar foi inferior a 19 °C, os fluxos sensíveis representaram de 73,55 – 63,62% do calor metabólico. Com o aumento da temperatura os mecanismos sensíveis perderam importância, e a partir dos 32 °C tornaram-se um ganho de calor do ambiente, sendo os mecanismos latentes o único meio para dissipar calor. Em conclusão os animais demonstraram uma elevada capacidade para manter o equilíbrio térmico quando protegidos da radiação, contudo, com uma maior dependência dos mecanismos latentes.

Objetivo:

Descrever as respostas fisiológicas e equilíbrio térmico de bovinos cruzados (½ Nelore x ½ Angus) em ambiente tropical.

2.1 Introdução

Nos últimos anos o Brasil apresentou expressivo crescimento da pecuária de corte, e atualmente é o segundo maior produtor mundial de carne bovina (ABIEC, 2019). Cruzamentos industriais (*Bos indicus* x *Bos taurus*) tem se tornado prática comum (Neto et al., 2011) nos sistemas de produção de bovinos de corte, principalmente com as raças Nelore e Aberdeen Angus, os quais visam obter animais com maior tolerância ao calor, precocidade e melhores atributos qualitativos da carne (Rodrigues et al., 2017). Porém, as condições meteorológicas encontradas em ambiente tropical como elevados níveis de irradiância solar, temperaturas do ar e temperatura radiante média podem impor desafios a termorregulação desses animais.

Características como menor taxa metabólica (Hansen, 2004; Finch, 1986; Kliber e Brody, 1949), resistência dos tecidos corporais à transferência de calor para o ambiente (Finch, 1986; Silva et al., 2003), maior relação área/volume (Hansen, 2004), densidade e volume de glândulas sudoríparas e superfície cutânea que propicia maior

proteção contra a radiação solar (Silva et al., 2003; Tuner, 1980), são características que justificam a maior adaptação de bovinos nelore ao clima tropical. Trabalhos publicados por de Melo Costa et al. (2017 e 2018) determinaram o padrão circadiano das respostas fisiológicas e equilíbrio térmico de bovinos Nelore manejados protegidos da radiação solar numa amplitude de temperatura de aproximadamente 14 °C (faixa de temperatura = 21 a 35 °C). De acordo com esses achados, uma relativa estabilidade nas respostas fisiológicas (taxa respiratória, ventilação, temperatura da epiderme, pelame e retal) e produção de calor metabólico são características que certamente explicam a tolerância ao calor desses animais ao ambiente tropical. No entanto, pouco se sabe a respeito das respostas fisiológicas e mecanismos de termorregulação de bovinos Angus e seus cruzamentos em condições de clima tropical. A maioria dos achados na literatura foram conduzidos em regiões de clima temperado e ambiente controlado (Hammond et al., 1996; Hammond et al., 1998; Scharf et al., 2010; Scharf et al., 2008; Beatty et al., 2006;). Assim, objetiva-se a partir deste estudo descrever respostas fisiológicas e equilíbrio térmico de bovinos cruzados (½ Nelore x ½ Angus) manejados em ambiente de clima tropical.

2.2 Materiais e métodos

2.2.1 Animais, local e desenho experimental

Todos os procedimentos envolvendo animais foram previamente aprovados pelo Comitê de Ética, Bioética e Bem-Estar Animal da Universidade Estadual Paulista (número do processo: 013641/17). O presente estudo foi realizado no Laboratório de Biometeorologia Animal da Universidade Estadual Paulista, Campos de Jaboticabal (21° 8' S; 48° 11' W) em outubro de 2018. Doze animais F1 (Nelore x Aberdeen Angus), inteiros, com aproximadamente 36 meses de idade e peso corporal de 606,5 ± 25,09 kg foram distribuídos aleatoriamente em um Quadrado Latino 12 x 12 (Fig. 1), durante 12 dias de avaliações com 12 classes de hora cada (6:00 às 7:00, 7:00 às 8:00, ..., 17:00 às 18:00). Durante o período experimental e coletas de dados os animais permaneceram protegidos da radiação solar direta.

Classe de Hora	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Dia 8	Dia 9	Dia 10	Dia 11	Dia 12
6-7h	An1	An9	An2	An10	An4	An5	An12	An7	An3	An8	An11	A6
7-8h	An2	An11	An4	An12	An6	An7	An2	An9	An5	An10	An1	An8
8-9h	An8	An4	An9	An5	An11	An12	An7	An2	An10	An3	An6	An1
9-10h	An5	An1	An6	An2	An8	An9	An4	An11	An7	An12	An3	An10
10-11h	An4	An12	An5	An1	An7	An8	An3	An10	An6	An11	An2	An9
11-12h	An10	An6	An11	An7	An1	An2	An9	An4	An12	An5	An8	An3
12-13h	An7	An3	An8	An4	An10	An11	An6	An1	An9	An2	An5	An12
13-14h	An12	An8	An1	A9n	An3	An4	An11	An6	An2	An7	An10	An5
14-15h	An6	An2	An7	An3	An9	An10	An5	An12	An8	An1	An4	An11
15-16h	An11	An7	An12	An8	An2	An3	An10	An5	An1	An6	An9	An4
16-17h	An9	An5	An10	An6	An12	An1	An8	An3	An11	An4	An7	An2
17-18h	An2	An10	An3	An11	An5	An6	An1	An8	An4	An9	An12	An7

Fig. 1. Arranjo experimental em Quadrado Latino (12 x 12), sendo os animais: An1, An2, ..., An12.

2.2.2 Estrutura, manejo dos animais e registro dos dados

Os 12 animais foram distribuídos aleatoriamente em pares, em seis baias de 15 m² cobertas com telhas termoacústicas (galpão com: pé direito 3,5 m, comprimento 16 m x largura 6 m), ficando protegidos da radiação solar direta e chuva. As mesmas apresentavam cocho e bebedouros. A dieta experimental era ofertada às 7:30 e 17:00 horas; foi calculada de acordo com as exigências nutricionais para ganho de peso de 1,500 kg dia⁻¹ de acordo com o BRCORTE 2018. Era composta por silagem de milho e concentrado a base de milho moído, grão de soja moído e núcleo mineral (Fosbovi® Confinamento 10), em uma relação 30/70 (matéria seca), conforme Tabela 1. O consumo diário de cada baia era realizado por meio da pesagem do ofertado e sobras. Para realização das medidas fisiológicas os animais eram conduzidos calmamente da baia até um tronco de contenção dentro de um galpão, que permanecia aberto para que as condições meteorológicas internas fossem similares ao meio externo.

Tabela 1. Composição da dieta dos animais

Ingredientes	Proporção (%)
Silagem de milho	32,3
Milho moído	57
Soja grão moída	6,9
Núcleo Fosbovi® Confinamento 10 ¹	3,8
Composição da ração ² (% MS)	
MS.	72,2
MM.	6,8
PB.	13,7
NDT	79,6

¹Composição do núcleo em kg: 57 g Ca; 15 g P; 34 g Na; 14 g Mg; 12 g Sn; 755 mg Zn; 300 mg Mn; 150 mg F (máximo); 187 mg Cu; 3,4 mg Se; 9,15 mg I; 10 mg Co; Monensina sódica 400 mg; nitrogênio não proteico 900 g.

²MS = matéria seca, MM = matéria mineral, PB = proteína bruta, NDT = nutriente digestíveis totais.

2.2.3 Variáveis meteorológicas

Para avaliação das condições ambientais foi utilizada uma estação meteorológica automática (modelo 110 - Nova Lynx., Auburn, CA, EUA) que foi colocada próximo as baias dos animais, a qual mensurava temperatura do ar (T_A ; precisão: $\pm 0,1$ ° C), umidade relativa (UR; precisão: $\pm 3\%$), irradiância solar (R_s , $W m^{-2}$; modelo CMP - 22, Kipp e Zonen, Delft, Holanda; faixa espectral (λ): 0,300–3,6 μm) e radiação ultravioleta (U_V , $W m^{-2}$; faixa espectral (λ) = 0,280–0,400 μm), velocidade do vento (V_V ; precisão: $\pm 0,44 m s^{-1}$) e direção (DW; intervalo: 0–360 °; precisão: $\pm 3\%$) e temperatura do globo negro (TG, ° C) foram registradas em intervalos regulares de um minuto. A TG foi avaliada ao sol (TG_{SOL}) e a sombra (TG_{SOM}), usando uma esfera de cobre de 15 cm de diâmetro colocada um metro acima do solo, e sua temperatura interna foi aferida com uma sonda termistor inoxidável (modelo 110 - WS - 16TH - A; precisão: 0,1 ° C). A partir dos valores de TG_{SOL} e TG_{SOM}

foi calculada a temperatura radiante média ao sol (TRM_{SOL}) e a sombra (TRM_{SOM}), de acordo com Silva et al. (2009).

2.2.4 Treinamento dos animais e parâmetros fisiológicos

Antes de iniciar as coletas de dados os animais foram previamente treinados utilizando os princípios da habituação e condicionamento com objetivo de diminuir as respostas de medo a presença humana, contenção e uso de máscara facial, semelhante a Camerro et al. (2016). Mais detalhes do treinamento no material suplementar.

As mediadas fisiológicas dos animais foram obtidas por meio de um sistema de avaliação do equilíbrio térmico acoplado à uma máscara facial ajustada ao focinho do animal (MAIA et al., 2014) desenvolvida pelo Grupo de Inovação em Biometeorologia, Ambiência e Bem-Estar Animal (INO BIO-MANERA), conforme descrito por Maia et al. (2017); Camerro et al. (2016); de Melo Costa et al. (2017) e Melo Costa et al. (2018). As respostas fisiológicas mensuradas foram frequência respiratória (F_R ; respirações mín^{-1}), ventilação (V_E , L s^{-1}), volume corrente (V_T , L respiração^{-1}), proporção de oxigênio (O_2 , %), dióxido de carbono (CO_2 , %) , metano (CH_4 , %), pressão de saturação do ar expirado ($P_s \{T_{EXP}\}$, kPa) e pressão de saturação do ar da cápsula ventilada ($P_s \{T_{EP}\}$, kPa). Além das temperaturas do ar expirado (T_{EXP} , ° C), pelame (T_S , ° C), epiderme (T_{EP} , ° C) e temperatura retal (T_R , ° C). Detalhes sobre os sensores e equipamentos no material suplementar.

2.2.5 Determinação do equilíbrio térmico

Para determinação do equilíbrio térmico dos animais foi quantificada a produção de calor metabólico (q''_{MET}), fluxos de calor por convecção (q''_{CONV}), radiação de ondas longas (q''_{RL}), evaporação cutânea (q''_{ES}) e respiratória (q''_{ER}), de acordo com Silva e Maia (2013) e trabalhos anteriores (Maia et al., 2017; de Melo Costa et al., 2017; equações no material suplementar). Todos os termos foram dados em taxa de mudança de energia com o tempo por unidade de área de superfície (W m^{-2}), sendo a área de superfície determinada usando a equação proposta por Simão et al. (2017).

2.2.6 Análise estatística

Os dados foram analisados pelo método dos quadrados mínimos Harvey (1960), por meio de modelos lineares generalizados, seguindo o modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + D_i + A_j + H_k + T_L + e_{ijkl}$$

em que, Y_{ijkl} é a variável resposta observada no i -ésimo dia, na k -ésima classe de hora, l -ésima classe de temperatura; D é o efeito aleatório do i -ésimo dia de avaliação ($i = 1, 2, \dots, 12$); A é o efeito aleatório do j -ésimo animal ($j = An1, An2, \dots, An12$); H é o efeito fixo da k -ésima classe de hora ($k = 6:00 - 7:00, 7:00 - 8:00, \dots, 17:00 - 18:00$); T é o efeito fixo l -ésima classe de temperatura ($l = 14, 15, \dots, 34$ ° C); e_{ijkl} é o erro aleatório e μ a média paramétrica.

2.3 Resultados

As condições meteorológicas durante o período experimental foram apresentadas na Tabela 2 e Fig. 2. A média da temperatura do ar e radiação foram $26,57 \pm 5,13$ ° C e $404,04 \pm 254,57$ W m⁻², respectivamente, seus valores máximos ultrapassaram os 35 ° C e 900 W m⁻², resultando em uma elevada temperatura radiante média que chegou a 43,66 ° C (Tabela 2). A T_A teve variação de 14,42 ° C, onde seu menor valor foi $16,27 \pm 0,19$ ° C, registrado às 6:00h e o maior $31,13 \pm 0,30$ ° C às 13:00h (Fig. 2). Ao mesmo tempo, a T_{RM} apresentou comportamento similar a T_A , com média de $30,44 \pm 6,94$ ° C, mínima de $15,06 \pm 0,14$ e máxima de $37,86 \pm 0,32$, Fig. 2. E a U_R teve comportamento inverso ao da T_A ($r = -0,99$; $P < 0,0001$), variando entre $73,79 \pm 0,59$ a $27,17 \pm 1,05$ % (Fig. 2).

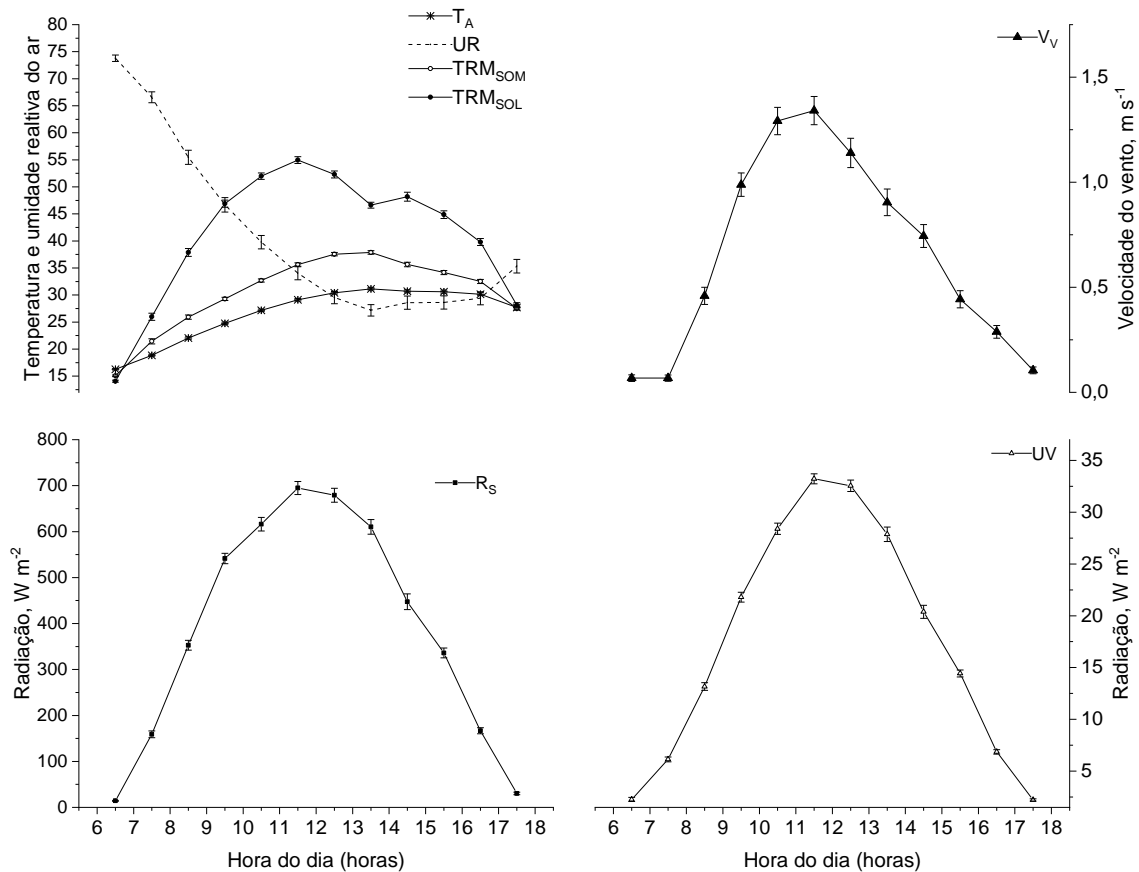


Fig. 2. Média estimadas por quadrados mínimos (\pm EPM) da radiação solar (R_s), radiação solar ultravioleta (U_v), temperatura do ar (T_A), temperatura radiante média ao sol (TRM_{SOL}) e a sombra (TRM_{SOM}) e velocidade do vento (V_v), das 6:00 às 18:00 horas.

Tabela 2. Temperatura do ar (T_A), umidade relativa (U_R), temperatura radiante média (TRM), temperatura radiante média ao sol (TRM_{SOL}), radiação solar (R_s), radiação ultravioleta (U_v) e velocidade do vento (V_v), coletadas durante o período experimental.

Parâmetro	Média	Máx.	Mín.	Faixa de variação
T_A , ° C	26,57	36	12,51	23,49
U_R , %	41,24	89	14,70	74,30
TRM_{SOM} , ° C	30,44	43,66	10,48	333,28
TRM_{SOL} , ° C	314,11	345,63	282,34	63,28
R_s , $W m^{-2}$	404,04	980,23	0	980,23
U_v , $W m^{-2}$	18,12	43,16	0	43,16
V_v , $m s^{-1}$	0,65	3,33	0	3,33

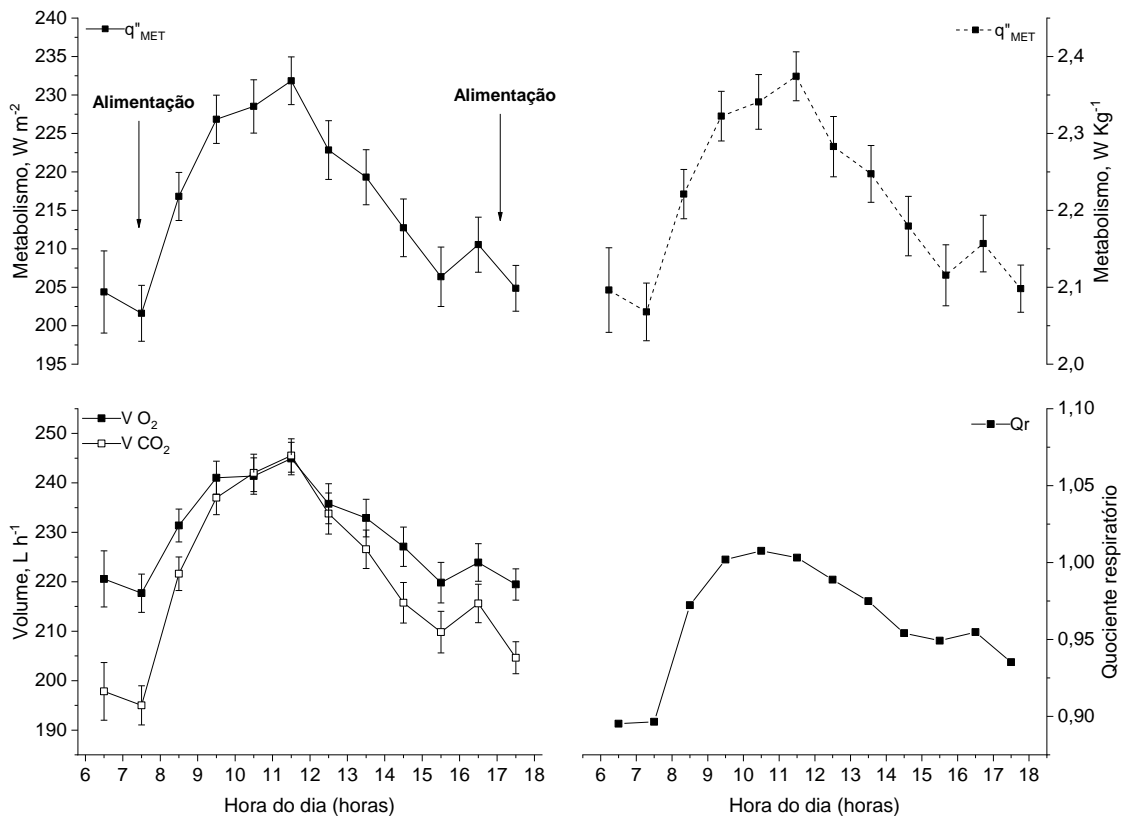


Fig. 4. Média estimadas por quadrados mínimos (\pm EPM) do metabolismo (q''_{MET} , $W m^{-2}$ e $W kg^{-1}$), volume de O_2 (VO_2 , $L h^{-1}$), volume de CO_2 (VCO_2 , $L h^{-1}$) e quociente respiratório (Q_R), das 6:00 às 18:00 horas.

Os animais apresentaram uma produção média de calor metabólico de $215,55 \pm 10,36 W m^{-2}$ e $2,20 \pm 0,1 W Kg^{-1}$ (Fig. 4), com uma pequena variação ao longo do dia, não havendo influência das variáveis meteorológicas T_A , U_R e T_{RM} sobre o metabolismo ($r = 0,36$, $r = -0,34$, $r = 0,56$, $P = 0,23$, $0,26$, $0,05$). Além disso, a ingestão de alimentos em cada baía manteve-se constante ao longo do estudo. O q''_{MET} e volumes respiratórios de O_2 e CO_2 apresentaram o mesmo padrão de distribuição ao longo do dia, registrando um aumento após o fornecimento da alimentação às 7:30h, com pico às 11:00h, declinando logo em seguida, Fig. 4. Os valores médios de VO_2 e VCO_2 foram de $229,66 \pm 9,61 L h^{-1}$ e $220,43 \pm 16,93 L h^{-1}$. Já o quociente respiratório teve seu menor valor, 0,89 às 6:00 h, aumentando rapidamente após a oferta de alimento, atingindo 0,97 às 8:00, como mostra da Fig. 4.

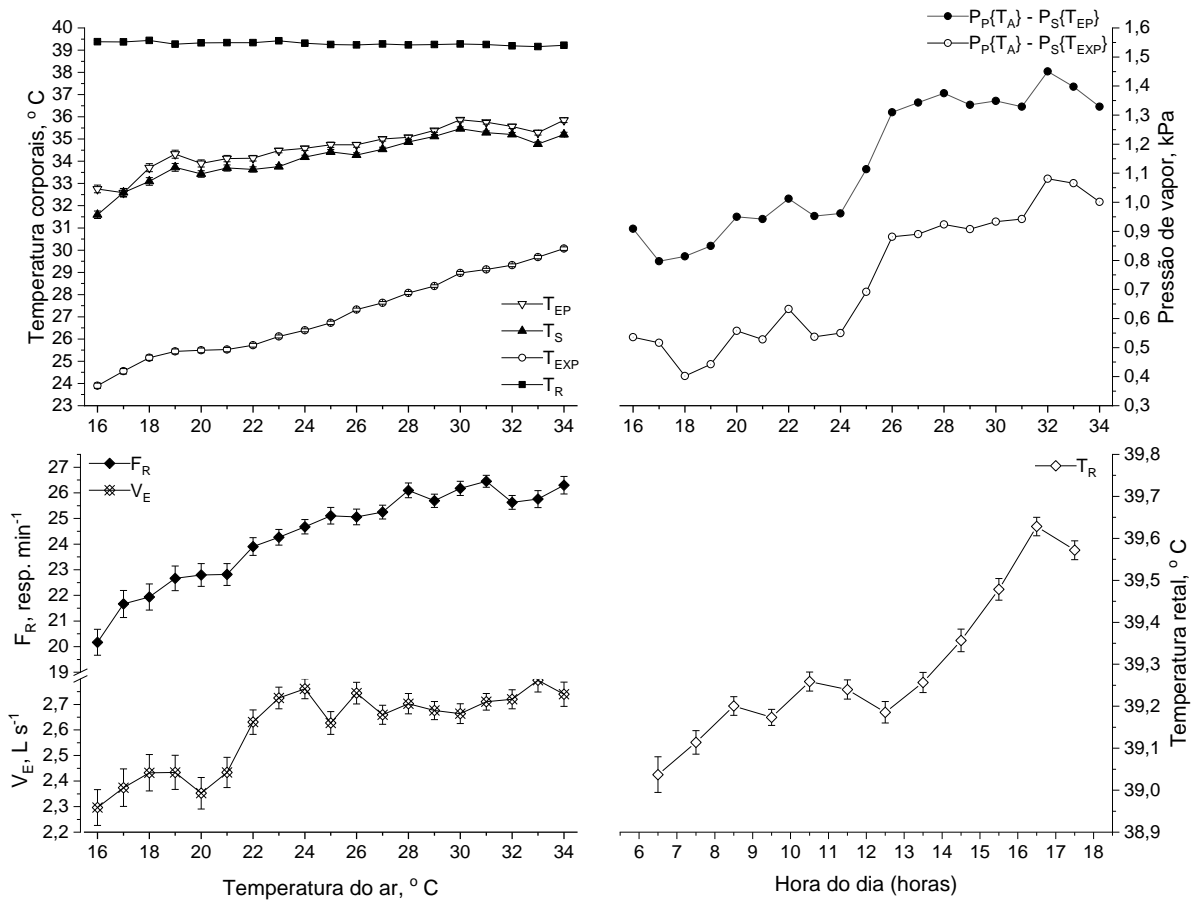


Fig. 5. Média estimadas por quadrados mínimos (\pm EPM) da temperatura superficial (T_S , ° C), temperatura da epiderme (T_{EP} , ° C), temperatura do ar expirado (T_{EXP} , ° C), frequência respiratória (F_R , respirações min^{-1}), volume respiratório (V_E , L s^{-1}), delta da pressão de vapor da epiderme ($P_P\{T_{EP}\} - P_P\{T_A\}$, kPa), delta da pressão de vapor da ar expirado ($P_P\{T_{EXP}\} - P_P\{T_A\}$, kPa), em função da classe de temperatura; e temperatura retal (T_R , ° C) em função da hora do dia.

As temperaturas corporais T_{EP} , T_S , T_{EXP} foram altamente correlacionadas com a T_A (Fig. 5) ($r = 0,93$, $r = 0,93$ e $r = 0,99$; $P < 0,0001$), exceto a T_R ($r = 0,63$; $P < 0,02$), a qual apresenta uma variação circadiana bem definida, variando de $39,03$ ° C às 6:00h a $39,62$ ° C às 16:00h, oscilando $0,59$ ° C; no entanto T_R apresentou efeito da classe de hora ($r = 0,92$; $P < 0,001$), aumentando lentamente ao longo do dia, principalmente após o pico de q''_{MET} (Fig. 5). A T_{EP} foi ligeiramente maior que a T_S (aproximadamente $0,5$ ° C), e variaram de $32,56 \pm 0,19$ – $35,86 \pm 0,08$ e $31,59 \pm 0,16$

– $35,54 \pm 0,08$, respectivamente, com o aumento da T_A (Fig. 5). Isso fez que o diferencial de temperatura entre a T_S e T_A diminuísse de $16,62$ para $0,93$ ° C, o mesmo ocorreu entre a T_S e T_{RM} sendo a variação de $17,29$ para $-4,56$ ° C. Com relação a T_{EXP} , esta aumentou de $23,89 \pm 0,11$ para $30,06 \pm 0,07$ ° C, em função da T_A (Fig. 5).

As pressões de saturação da epiderme e ar expirado também aumentaram com a temperatura do ar (Fig. 5) ($r = 0,61$, $r = 0,72$, respectivamente; $P < 0,004$), variando de $2,27$ a $2,86$ kPa e $1,90$ a $2,42$ kPa, quando a temperatura do ar foi 16 e 27 ° C. Já a frequência e volume respiratório apresentaram uma média de $24,33 \pm 1,83$ mov. min^{-1} e $2,60 \pm 0,15$ L s^{-1} , com um leve aumento com a elevação temperatura do ar ($r = 0,94$ e $0,84$; $P < 0,0001$), uma variação de 6 mov. min^{-1} e $0,44$ L s^{-1} , sendo a F_R e V_E correlacionadas ($r = 0,89$; $P < 0,0001$), Fig. 6.

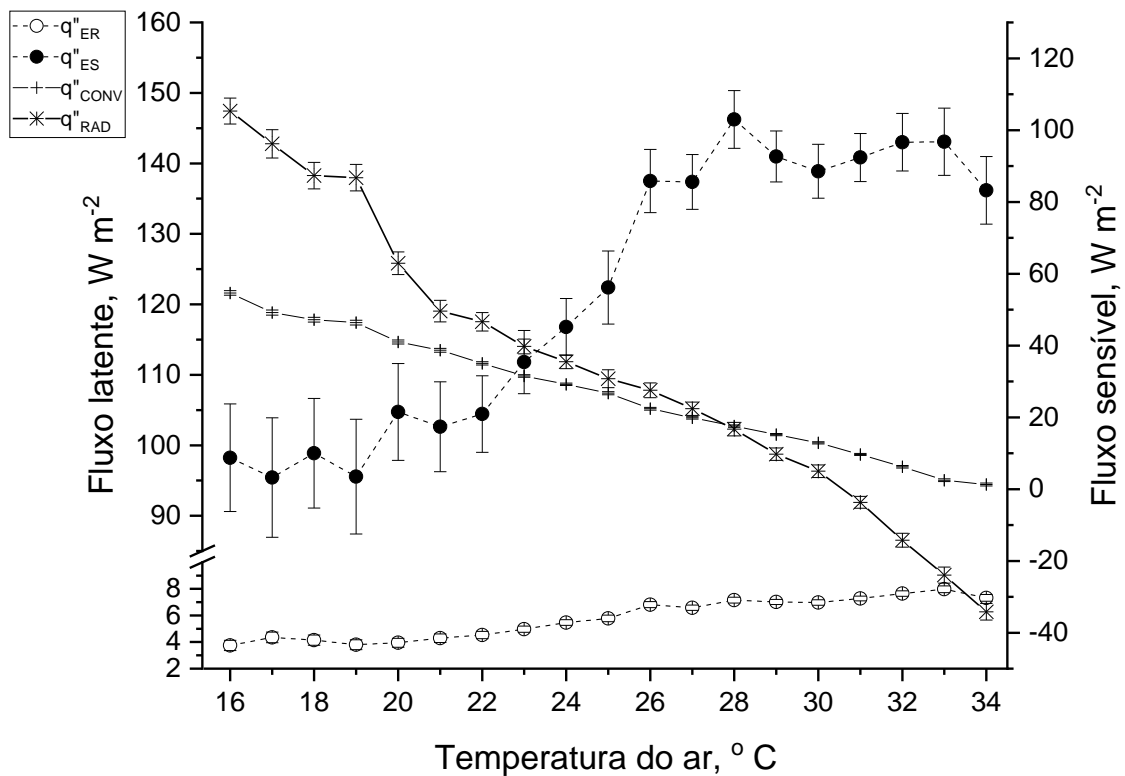


Fig. 6. Média estimadas por quadrados mínimos (\pm EPM) do fluxo de calor por convecção (q''_{CONV} , W m^{-2}), radiação (q''_{RAD} , W m^{-2}), evaporação respiratória (q''_{ER} , W m^{-2}) e evaporação superficial (q''_{ES} , W m^{-2}), em função da classe de temperatura.

Quando a temperatura do ar foi inferior a 19 ° C, os fluxos sensíveis foram o principal mecanismo para dissipar calor, sendo responsável por dissipar entre $159,95$

a $133,15 \text{ W m}^{-2}$, 73,55 – 63,62% da carga metabólica, sendo 25,12% via q''_{CONV} e 48,42 via q''_{RAD} quando a T_A foi igual a 16° C (Fig. 6 e 7). Entre 20 e 26° C , os fluxos latentes ganharam importância progressiva, aumentando de 108,68 para $144,30 \text{ W m}^{-2}$, enquanto os fluxos sensíveis perderam valor, reduzindo suas contribuições de 103,92 para $49,94 \text{ W m}^{-2}$ (Fig. 6). Com classes temperatura do ar entre 26 e 31° C , os fluxos latentes tornaram-se o principal meio para termólise e manutenção do equilíbrio térmico, atingindo valor de 148 W m^{-2} , 69,35 % do calor metabólico, sendo 3,40 % via q''_{ER} e 65,95% via q''_{ES} (Fig. 6 e 7). E a partir dos 32° C , os fluxos sensíveis passaram a contribuir para o aumento da carga térmica, representando um ganho de calor do ambiente, principalmente por radiação de ondas longas (Fig. 6 e 7). A evaporação respiratória teve uma baixa contribuição, com valor máximo de $7,97 \text{ W m}^{-2}$ (3,79 %), podendo ser reflexo do leve aumento na F_R e V_E . Ambas as perdas evaporativas aumentaram com a T_A ($r = 0,92$; $P < 0,0001$), além do q''_{ES} que também foi fortemente influenciado pela T_{EP} ($r = 0,85$; $P < 0,0001$). Contudo, mesmo em períodos com temperaturas inferiores a 18° C as vias evaporativas foram significantes, chegando a contribuindo com 46 % do calor metabólico dissipado.

2.4 Discussão

O presente trabalho descreve o equilíbrio térmico de animais oriundos do cruzamento industrial entre as raças Nelore x Aberdeen Angus, manejados em ambiente de clima tropical. Os animais foram mantidos e avaliados protegidos da radiação solar direta, em uma faixa de temperatura do ar de $16,27 \pm 0,13$ a $31,13 \pm 0,21^\circ \text{ C}$, e T_{RM} de $15,06 \pm 1,20$ a $37,86^\circ \text{ C}$. Os resultados encontrados mostram uma taxa metabólica com pouca variação, superior à de animais zebuínos e muito próxima de taurinos, e apesar do maior metabolismo, o mesmo não apresentou influência das variáveis meteorológicas. Além disso, os animais apresentaram uma grande estabilidade nas respostas fisiológicas como temperaturas corporais, frequência e volume respiratório, volumes de O_2 e CO_2 . Indicando uma elevada capacidade para manter o equilíbrio térmico nessas condições, porém, com uma maior dependência dos mecanismos evaporativos.

A produção metabólica de calor desses animais esteve intimamente relacionada com o horário de alimentação, registrando um aumento logo após a oferta do alimento com um pico às 11:00h. Esse fato é explicado pelo incremento calórico oriundo do processo de oxidação dos alimentos no trato digestório desses animais, o que também tem sido verificado em outros trabalhos (de Melo Costa et al., 2017 e 2018; Camerro et al., 2017; Castro, 2018). A baixa variação do Q_R ao longo do intervalo avaliado reflete o estado alimentar dos animais.

Em média, o metabolismo dos animais foi de 215 W m^{-2} , sendo superior aos 155 e 151 W m^{-2} descritos por Camerro et al. (2016) e de Melo Costa et al. (2017, 2018) para bovinos Zebuínos das raças Guzera e Nelore, respectivamente. Por outro lado, esse valor foi similar ao encontrado por Richardson et al. (2001) para novilhas da raça Angus, as quais apresentaram um metabolismo médio de 212 W m^{-2} . A menor produção de calor metabólico de animais zebuínos tem sido apontada como uma das causas da maior capacidade para manutenção do equilíbrio térmico (Hansen, 2004; Finch, 1986). Este fato é justificado por menores taxas de crescimento e produção, menor ingestão de alimento e tamanho reduzido dos órgãos internos (Hansen, 2004; Menezes et al., 2007; Kibler e Brody, 1949). Apesar da superioridade do metabolismo, o mesmo não foi influenciado pelas variáveis meteorológicas, em uma faixa de variação de T_A de 14 a $34 \text{ }^\circ\text{C}$, diferentemente do que tem sido verificado para animais taurinos (Beatty et al., 2006; Brown-Brandl et al., 2003). Além disso, apesar de não ter sido possível monitorar o consumo individual de ração dos animais, o consumo em cada baía manteve-se estável.

No presente estudo, a temperatura retal dos animais apresentou um padrão diurno, oscilando apenas $0,59 \text{ }^\circ\text{C}$, mostrando uma relativa estabilidade entre a produção e perda de calor. A mesma teve uma fraca relação com a T_A ; resultados semelhantes foram encontrados em outros trabalhos com animais adaptados (Camerro et al., 2017; de Melo Costa et al., 2017, 2018; Fonsêca et al., 2016) e com bovinos em câmara climáticas (Brown-Brandl et al., 2003). A T_R aumentou lentamente ao longo do dia, exibindo uma pequena variação durante a manhã, e após pico de metabolismo amentou continuamente até às 16:00, o que pode indicar um estoque de energia térmica; utilizando equação proposta por MCLean (1983), esta estocagem térmica foi de $0,0465 \text{ W kg}^{-1}$ ou $4,50 \text{ W m}^{-2}$.

Hammond et al., 1996 compararam a T_R das raças Senepol, Romosinuano, Brahman, Angus e Hereford, e encontraram os menores valores para animais Brahman e maiores para Angus. Em estudo posterior, os mesmos autores (Hammond et al., 1998), verificaram que os animais cruzados (Brahman x Angus) apresentavam T_R semelhante ao Brahman. Já Dikmen et al., 2018 avaliaram a temperatura corporal de um rebanho bovino taurino com diferentes níveis de introdução de indicus (Angus, 2/8 Brahman, Brangus, 4/8 Brahman, 6/8 Brahman e Brahman), e observaram que a partir do genótipo 4/8 Brahman, os animais apresentaram as menores temperaturas internas e maior estabilidade das mesmas. Demonstrando que os animais zebuínos ou com maior grau sanguíneo zebu, apresentam uma maior capacidade para manter o equilíbrio térmico, o que reflete em uma pequena oscilação e maior estabilidade da T_R . Segundo Finch (1986) esse maior controle da T_R se dá pela maior capacidade dos zebuínos em transferir o calor interno para periferia, devido a maior capacidade em redirecionar o fluxo sanguíneo e maior número de anastomoses arteriovenosas.

O baixo armazenamento de energia térmica também refletiu na estabilidade das temperaturas da epiderme, superficial e do ar expirado, além de uma pequena diferença entre a T_{EP} e T_S , em uma ampla faixa de variação de T_A . Esse fato é explicado pela similaridade das características morfológicas da capa de cobertura dos animais cruzados em relação ao nelore, com pelos curtos e bem assentados, conferindo uma menor resistência ao fluxo de calor (Collier e Gebremedhin, 2015; Silva et al. 2003).

Os fluxos sensíveis (q''_{CONV} e q''_{RAD}) são uma função do gradiente térmico entre a T_S e T_A e a T_S e T_{RM} ; dessa forma, apresentam um comportamento inverso ao da temperatura do ar. Com $T_A < 19^\circ C$, os fluxos sensíveis foram responsáveis por dissipar a maior parte da carga metabólica do animal (até 73,55 %, Fig. 7), sendo a maior contribuição da radiação de ondas longas, já que neste momento também se encontravam as menores velocidades do vento, resultando em uma menor participação da convecção. Com o aumento da temperatura do ar as perdas sensíveis diminuíram de forma linear. Dessa forma, aos $32^\circ C$ a perda de calor por convecção é quase insignificante, e a radiação de ondas longas torna-se um ganho de energia térmica do ambiente. Isso ocorre devido a elevada carga térmica encontrada em ambientes tropicais, que em determinados momentos do dia a temperatura do ar e

radiante média encontra-se próxima ou superior a temperatura superficial do animal (Silva, 2000). Resultados semelhantes foram relatados por Maia et al. (2005), para vacas Holandesas; quando T_A variou entre 10 a 20 ° C os mecanismos sensíveis representaram 80 a 30 % da perda de calor desses animais, e a partir dos 32 ° C tornaram-se uma forma de ganho de energia térmica. Para bovinos Nelore de Melo Costa et al. (2018), relataram que nos horários de maior gradiente térmico os fluxos sensíveis chegaram a representar 60 % do calor metabólico, e mesmo com temperaturas acima dos 30 ° C esses animais ainda continuaram a perder calor via sensível, demonstrando uma maior capacidade para reduzir a resistência dos tecidos, como relatado por Finch (1986).

As perdas evaporativas são o principal meio para manutenção do equilíbrio térmico em ambientes com elevadas temperaturas e carga térmica. A evaporação superficial foi fortemente influenciada pela T_{EP} , assim como descrito em outros trabalhos (Maia et al., 2005, Gebremedhin et al., 2008, Silva e Maia, 2011). Mesmo com menor T_A , a q''_{ES} teve uma contribuição considerável, com um menor valor de 95,42 W m⁻² chegando a 146,23 W m⁻², o que representou de 44,80 a 68,18 % (Fig. 7) do calor metabólico. Esse elevado limiar, mesmo com baixas temperaturas pode ser reflexo da maior produção metabólica de calor desses animais, com isso, maior necessidade de utilizar os meios evaporativos. De Melo Costa et al. (2018) estudando o padrão circadiano do equilíbrio térmico de animais Nelore, verificou que mesmo a noite a evaporação superficial representou 28 % do metabolismo, sendo que variou de 42 a 85 W m⁻² ao longo das 24 horas. Esses valores são inferiores aos encontrados aqui. Avaliando a termotolerância de zebuínos, taurinos e seus cruzamentos em câmaras climáticas, Gaughan et al. (1999) encontraram maiores taxas de sudorese para animais cruzados (Brahman x Hereford) que para os animais zebuínos puros. Isso apoia os maiores valores de q''_{ES} encontrados no presente relatório em comparação com os valores relatados para nelore por de Melo Costa et al. (2018).

A evaporação superficial aumentou de forma quase linear até os 26 ° C, estabilizando por volta dos 140 W m⁻², mesmo com o aumento da temperatura do ar até 34 ° C. Outros relatórios mostram que as taxas evaporativas de vacas holandesas continuaram aumentando com a temperatura do ar (Maia et al., 2005). A estabilização da taxa de evaporação pode indicar que no momento, esses valores já eram

suficientes para manter o equilíbrio térmico dos animais, sem a necessidade de elevar a taxa de sudação, diminuindo assim os gastos energéticos com a termorregulação. Essa hipótese é embasada pela constância da frequência respiratória e temperatura retal dos animais.

Para aumentar a perda por evaporação respiratória, os animais aumentam a frequência respiratória e a ventilação no trato respiratório superior (Collier e Gebremedin, 2015) na tentativa de aumentar a vaporização de água e conseqüentemente perda de calor. Contudo, os resultados mostraram uma baixa contribuição da evaporação respiratória para manutenção do equilíbrio térmico, com máximo valor de $7,94 \text{ W m}^{-2}$ aproximadamente 3% (Fig. 7) do calor metabólico. Valores semelhantes foram encontrados para animais da raça Nelore (2%) (de Melo Costa et al., 2018). Em contrapartida, Maia et al. (2005), avaliando as trocas latentes de vacas holandesas encontrou uma contribuição de até 60 W m^{-2} .

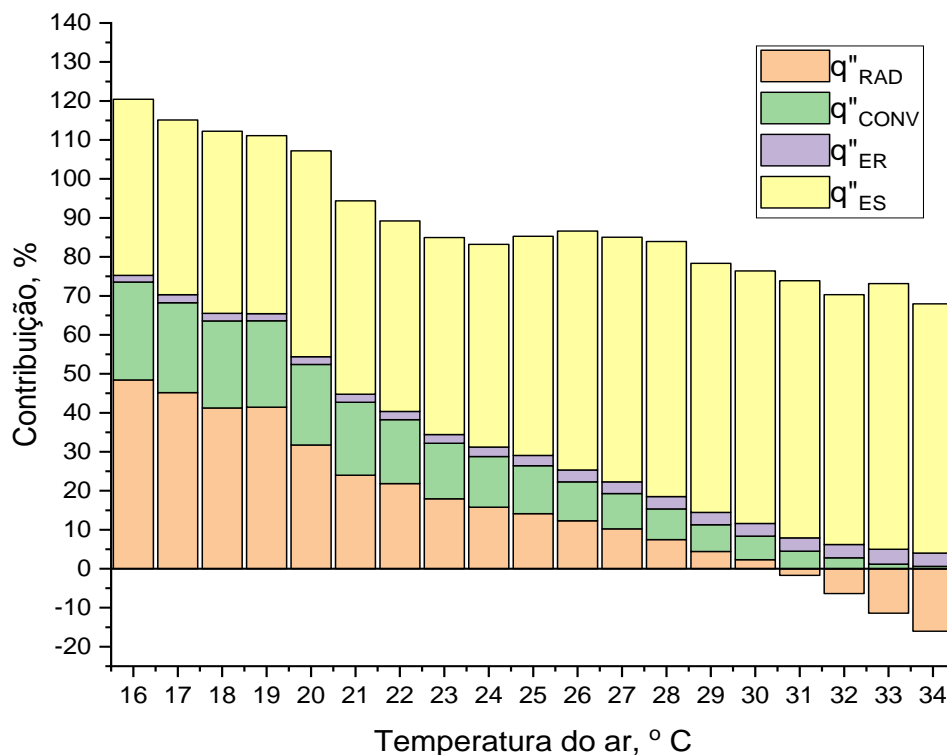


Fig. 7. Contribuição dos fluxos de calor em relação a produção de calor metabólico.

Essa baixa contribuição é reflexo do leve aumento na frequência e volume respiratório dos animais estudados, que variou de 20 a 26 mov. min⁻¹ e de 2,29 a 2,79 L s⁻¹; um padrão semelhante na frequência respiratória foi encontrado por de Melo Costa (2018) para bovinos Nelore (17 a 21 mov. min⁻¹). Já Valente et al. (2015), avaliando as respostas termorreguladoras de tourinhos Angus e Nelore em três condições de temperatura (média de 25, 28,9 e 33,2 ° C), nesse caso a frequência respiratória foi 86 e 29, 96 e 42, e 104 e 45, respectivamente. Outros trabalhos também mostram uma maior F_R para animais taurinos. Ao que parece, os animais *Bos indicus* apresentam menores taxa e limiares de frequência respiratória. Tuner (1980), em uma revisão relata que o gado Brahman apresentou diferenças hematológicas em relação ao Hereford, apresentando contagens mais elevadas de glóbulos vermelhos e hemoglobina, o que poderia sugerir uma maior capacidade de transporte de oxigênio, explicando as menores frequências respiratórias no gado zebuino. E Hammond et al. (1998) também encontrou diferenças nos mesmos parâmetros entre o Brahman e Angus.

2.5 Conclusão

- Os resultados indicam que o uso de cruzamentos entre *Bos indicus* x *Bos taurus* podem melhorar a termotolerância as condições de clima tropical, mostrando grande semelhança nas respostas termorreguladoras de animais cruzados (Nelore x Aberdeen Angus) com animais da raça Nelore, quando são protegidos da radiação;
- A relativa estabilidade nas respostas fisiológicas dos animais cruzados como produção metabólica de calor, frequência respiratória, volume respiratório e temperatura retal indicam que os animais foram capazes de manter o equilíbrio térmico de forma eficiente, porém, com maior dependência dos mecanismos evaporativos;
- A produção média de calor metabólico dos animais cruzados Nelore x Aberdeen Angus foi 215,55 W m⁻²;

- Abaixo dos 19 ° C os mecanismos sensíveis são o principal meio para manutenção do equilíbrio térmico, e a partir dos 32 ° C passam a representar um ganho de calor;
- Mesmo com baixas temperaturas, as perdas evaporativas apresentaram uma elevada contribuição e, a partir dos 32 ° C as perdas latentes são o único meio para manutenção do equilíbrio térmico.

2.6 Referências

Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes – **ABIEC, 2019**. Perfil da pecuária no Brasil. Disponível em: <<http://www.abiec.com.br/PublicacoesLista.aspx>>. Acessado em 16/02/2019.

Beatty, D. T.; Barnes, A.; Taylor, E.; Pethick, D.; Mccarthy, M.; Maloney, S. K. Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. **Journal of Animal Science**, v. 84, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.2527/2006.844972x>>

Brown-Brandl, T. M.; Nienaber, J. A.; Eigenberg, R. A.; Hahn, G. L.; Freetly, H. Thermoregulatory responses of feeder cattle. **Journal of Thermal Biology**, v. 28, 149–157, 2003.

Camerro, L. Z.; Maia, A. S. C.; Neto, M. C.; Costa, C. C. M.; Castro, P. C. Thermal equilibrium responses in Guzera cattle raised under tropical conditions. **Jornual of Thermal Biology**, v. 60, p. 213-221, 2016.

Castro, P. A. EFEITO DO AMBIENTE TÉRMICO RADIANTE SOBRE RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE VACAS HOLANDÊS (PB) EM AMBIENTE TROPICAL. 2018. 65f. **Dissertação** (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2018.

Collier, R. J.; Gebremedhin, K. G. Thermal Biology of Domestic Animals. **Annu. Rev. Anim. Biosci.**, 2015. Disponível em: <DOI 10.1146/annurev-animal-022114-110659>

De Melo Costa, C. C.; Maia, A. S. C.; Brown-Brandl, T. M.; Chiquitelli Neto, M.; Fonsêca, V. F. C. Thermal equilibrium of Nellore cattle in tropical conditions: an investigation of circadian pattern. **Journal of Thermal Biology**. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.04.014>>

De Melo Costa, C. C.; Maia, A. S. C.; Nascimento, S. T.; Nascimento, C. C. N.; Chiquitelli Neto, M.; Fonsêca, V. F. C. Thermal balance of Nellore cattle. **International Journal of Biometeorology**. 2017. Disponível em: <DOI 10.1007/s00484-017-1349-6>

Dickmen, S.; Mateescu, R. G.; Elzo, M. A.; Hansen, P. J. Determination of the optimum contribution of Brahman genetics in an Angus-Brahman multibreed herd for regulation of body temperature during hot weather. **J. Anim. Sci.**, 2018. Disponível em: <doi: 10.1093/jas/sky133>

Finch, v. a. Body temperature in Beef Cattle: Its Control and Relevance to Production in the Tropics. **J. Anim. Sci.** v. 62, 1986.

Fonsêca, V. F. C. Termorregulação de ovinos Morada Nova. 2016.112 f. **Tese** (Doutorado em Zootecnia) - Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2016.

Gaughan, E. B.; Mader, T. L.; Holt, S. M.; Josey, M. J.; Rowan, K. J. Heat Tolerance of Boran and Tuli Crossbred Steers. **J. Anim. Sci.**, v. 77, 1999.

Hammond, A. C.; Chase, C. C.; Bowers, E. J.; Olson, T. A.; Randel, R. D. Heat tolerance in Tuli-, Senepol-, and Brahman-sired F1 Angus heifers in Florida. **J Anim Sci.**, v. 76, 1998.

Hammond, A. C.; Olson, T. A.; Chase, C. C. J.; Bowers, E. J.; Murphy, C. N.; Vogt, D. W.; Tewolde, A. Heat tolerance in two tropically adapted *Bos taurus* breeds, Senepol and Romosinuano, compared with Brahman, Angus, and Hereford cattle in Florida. **J Anim Sci.**, v. 74, 1996.

Hansen, J. P. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. **Animal Reproduction Science**, p. 359-360, 2004.

HARVEY, W. R. Least-squares analysis of data with unequal subclass numbers. Beltsville: **USDA publ.**, n. 20-8, 1960.

Johnson, D.E., 1998. Principal components analysis. **In: Applied multivariate**
Kibler, H. H. E Bordy, S. Influence of Temperature, 50 o to 5 o F and 50 o to 95 o F, on Heat Production and Cardiorespiratory Activities of Dairy Cattle. **Environmental Physiology**, v. 450, 1949.

Maia, A.S.C.; Nascimento, S.T.; Carvalho, M.D.; Fonsêca, V.F.C.; Pinheiro, M.G. Enteric methane emission of Jersey dairy cows: an investigation on circadian pattern. **In Proceedings of the 21st International Congress of Biometeorology**, 3-6 Setember 2017, Durham, United Kingdom, pp. 100–104.

Maia, A.S.C.; Silva, R.G.; Loureiro, C.M.B. Sensible and Latent Heat Loss from the Body Surface of Holstein Cows in a Tropical Environment. **International Journal of Biometeorology**, v,50, n,1, p. 17-22, 2005.

Mainly, B.F.J., 1994. Principal components analysis. **In: Multivariate statistical**
Mclean, J. B.; Stombauch, D. P.; Downie, A. J. Body heat storage in steers (*Bos taurus*) in fluctuating thermal environments. **J. agric. Camb.**, 1983.

Menezes, L.F.G., Restle, J., Brondani, I.L., Kuss, F., Alves Filho, D.C., Silveira, M.F., Leite, D.T. Internal organs and gastrointestinal tract of feedlot finished steers of advanced generations of rotational crossbreeding between Charolais and Nellore.

Revista Brasileira de Zootecnia., v. 36, 2007. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982007000100015>>

Neto, O. R. M., Ladeira, M. M.; Gonçalves, T. M.; Lopes, L. S.; Oliveira, D. M.; Lima, R. R. Performance and carcass traits of Nellore and Red Norte steers finished in feedlot. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 5, 2011. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982011000500020> >

Richardson, E. C.; Herd, R. M.; Oddy, V. H.; Thompson, J. M., Archer, J. A.; Arthur, P. F. Body composition and implications for heat production of Angus steer progeny of parents selected for and against residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 41, p. 1065-1072, 2001.

Rodrigues, R. T. S.; Chizzotti, M. L.; Vital, C. E.; Baracat-Pererira, M. C.; Barros, E.; Busato, K. C.; Gomes, R. A.; Ladeira, M. M.; Martins, T. S. Differences in Beef Quality between Angus (*Bos Taurus Taurus*) and Nellore (*Bos Taurus indicus*) Cattle through a Proteomic and Phosphoproteomic Approach. **Plos one**, 2017.

Scharf, B.; Carrol, J. A.; Riley, D. G.; Chase, C. C.; Coleman, S. W.; Keisler, D. H.; Weaber, R. L.; Spiers, D. E. Evaluation of physiological and blood serum differences in heat-tolerant (Romosinuano) and heat-susceptible (Angus) *Bos taurus* cattle during controlled heat challenge. **J Anim Sci.**, V. 88, 2010. Disponível em: < doi: [10.2527/jas.2009-2551](https://doi.org/10.2527/jas.2009-2551)>

Scharf, B.; Wax, L. E.; Aiken, G. E.; Spiers, D. E. Regional differences in sweat rate response of steers to short-term heat stress. **Int J Biometeorol**, v. 52, 2008. Disponível em: < doi: [10.1007/s00484-008-0165-4](https://doi.org/10.1007/s00484-008-0165-4)>

Silva, R. G. Um Modelo para a Determinação do Equilíbrio Térmico de Bovinos em Ambientes Tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, p. 1244-1252, 2000.

Silva, R. G.; Gilhermino, M. M.; Morais, D. A. E. F. Thermal radiation absorbed by dairy cows in pasture. **International Journal Biometeorol**, v. 54, p. 5-11, 2009.

Silva, R. G.; Jr Scala, N. L.; Tonhati, H. Radiative Properties of the Skin and Haircoat of Cattle and Other Animals. **American Society of Agricultural Engineers**, v. 46, p. 913-918, 2003.

Simão, B.R., Maia, A.S.C., Chiquitelli Neto, M., Culhari, E.C., Castro, P.A., Fonseca, V.F.C., 2017. A way to measure surface area in livestock, **In Proceedings of the 21st International Congress of Biometerology**, Durham, United Kingdom, pp. 100–104.

Tuner, J. W. Genetic and Biological Aspects of Zebu Adaptability. **Jornal of Animal Science**, v. 50, 1980.

Valente, E.E.L., Chizzotti, M.L., Oliveira, C.V.R., Galvão, M.C., Domingues, S.S., Rodrigues, A.C., Ladeira, M.M., Ferreira, R.A., Chizzotti, F.H.M., 2013. Effect of heat stress on intake and metabolism of *Bos taurus* (Angus) and *Bos indicus* (Nelore). **In: 4th EAAP-Symposium on Energy and Protein Metabolism and Nutrition**, Sacramento, California.

2.7 ANEXO – Material suplementar

2.7.1 Protocolo de Treinamento dos animais

Inicialmente foi realizada uma seleção pré-experimental dos animais com base no comportamento, com o objetivo de escolher animais menos reativos ao manejo experimental e a presença humana, minimizando o tempo despendido para o condicionamento dos mesmos e evitar eventuais problemas de manejo. Onde foram selecionados 12 animais de um rebanho de 30.

Os animais foram treinados utilizando os princípios da habituação e condicionamento com objetivo de diminuir as respostas de medo à presença humana, contenção e uso de máscara facial. O treinamento foi realizado todos os dias (exceto finais de semana), tentando manter o mesmo padrão de horário e pessoas, oferecendo reforço positivo aos animais no término da execução das tarefas. O

processo de treinamento foi realizado em duplas de acordo com a distribuição dos animais nas baias, sendo dividido nas seguintes etapas:

- I. Adaptação dos animais ao local e aos manejadores durante uma semana;
- II. Diminuição da distância de fuga. Foi realizada no corredor, onde os animais eram manejados por aproximadamente 15 minutos cada dupla; tempo estimado de uma semana;
- III. Trabalho no curral, os animais foram treinados para obedecer aos comandos do tratador, tempo estimado de uma semana;
- IV. Tempo de permanência no tronco. O tempo de permanência no tronco foi aumentado gradativamente, inicialmente com 10 minutos na primeira semana, 20 minutos na segunda e assim sucessivamente até atingir 50 minutos. Ao mesmo tempo foi realizada a dessensibilização dos animais por meio da escovação e banho;
- V. Uso da máscara facial. Após o animal atingir 50 minutos de permanência no tronco de contenção, foi inserido máscara facial. Essa etapa seguirá o mesmo princípio da anterior, sendo o tempo de permanência no tronco de contenção com a máscara aumentado gradativamente.

Durante o período de treinamento, a evolução no temperamento dos animais foi verificada por meio da contagem da frequência respiratória e de testes clássicos de reatividade na balança e tronco de contenção (Sant'ana et al., 2013), os quais:

- **Escore de movimentação na balança**

Este teste foi realizado no tronco de contenção, sem que houvesse contenção do animal. Durante o período de 4 segundos, eram atribuídos os seguintes escores:

- 1- Sem movimentos;

- 2- Poucos movimentos (em menos da metade do tempo);
- 3- Movimentos frequentes (durante metade do tempo ou mais), porém não vigorosos;
- 4- Movimentos vigorosos;
- 5- Movimentos constantes e vigorosos, incluindo saltos ou tentativas posicionamento de membros para fora do tronco de contenção.

- **Crush score (CS)**

Após 4 segundos sem a contenção dos animais, foi pontuado os seguintes escores no ato da contenção:

- 1- Animal não oferece resistência;
- 2- Alguns movimentos com a cabeça erguida e orelhas eretas;
- 3- Movimentos frequentes (não vigorosos), movimentos de cabeça, orelha e cauda, membrana esclerótica pode ser visível;
- 4- Oferece grande resistência, movimentos abruptos e vigorosos do animal inteiro, bem como da cabeça, orelhas e cauda, membrana esclerótica visível, respiração auditiva e pode saltar ou se jogar no tronco.

2.7.2 Calibração do sistema

Antes do ensaio, o Módulo de Análise de Gases da Field Metabolic System (modelo FMS-1201-05, Sable System, EUA), constituído por um analisador de Oxigênio (célula de combustível; acurácia: 0,1%) e Dióxido de Carbono (conjunto duplo óptico de infravermelho; acurácia: 1%) juntamente com um analisador externo de Metano (modelo MA-10A, Sable System, EUA; conjunto duplo óptico de infravermelho; acurácia: 1%) foram ajustados para o intervalo de leitura de 0 – 20,95%, 0 – 10% e 0 – 1% respectivamente. Posteriormente os analisadores foram calibrados com gases de concentrações conhecidas (O₂: 20,95%; CO₂: 7%; CH₄: 1% e N₂: 99,99% para o zero). **Procedimento:** Um cilindro de gás (O₂: 20,95%;) é conectado a FMS através de um tubo plástico (Bev-A-Line Tubing, Sable System, EUA) de baixa permeabilidade, com fluxo regulado para 150 ml min⁻¹, então, o gás é passado no

modulo até que a leitura do mesmo seja o mais próximo e com menor oscilação. Posteriormente é informado ao sistema que aquela amostra contém 20,95% de oxigênio. O procedimento é repetido até que a leitura do gás fique estável. Para os demais analisadores o procedimento é o mesmo, alterando apenas o gás e concentração a ser utilizado de acordo com cada analisador. O zero é calibrado com nitrogênio puro para todos os analisadores.

O espirômetro foi calibrado no intervalo entre cada animal, com uma seringa (557, Hans Rudolph, EUA, volume: 3 L) com volume conhecido do ar que passa pela cabeçal de fluxo. Para evitar a condensação dos tubos plásticos que conduzem a amostra de ar do misturador para FMS e da cápsula ventilada para o analisador de vapor de água, do cabeçal de fluxo e misturador foram realizados os seguintes procedimentos: 1) cabeçal de fluxo e misturador, foram colocados em uma estufa com uma lâmpada incandescente de (20 W) para realizar o aquecimento do ar, garantindo que no interior da estufa a temperatura fosse similar a do ar expirado pelo animal; 2) mangueiras plástica, para amostra de ar retirada do misturador e da cápsula ventilada foram instalados dois tudo plásticos para cada, os quais eram trocados a cada coleta, e onde o tubo que não estava sendo usado era conectado a uma bomba de fluxo (SS4, Sable System, EUA, volume: 1000 ml min⁻¹) para seca-lo.

2.7.3 Equilíbrio Térmico

Para determinação do equilíbrio térmico dos animais foi quantificada a produção de calor metabólico (q''_{met}), os fluxos de calor por convecção (q''_{conv}), radiação de ondas longas (q''_{rl}), evaporação cutânea (q''_{es}) e respiratória (q''_{er}); determinados de acordo com Silva e Maia (2013) e relatórios anteriores (Maia et al., 2016; de Melo Costa et al., 2017 e 2018). Todos os termos foram dados em taxa de mudança de energia com o tempo por unidade de área de superfície ($W m^{-2}$), sendo a área de superfície determinada usando a equação proposta por Simão et al. (2017). Posteriormente o equilíbrio térmico dos animais foi calculado de acordo com a diferença entre o q''_{met} e somatório dos fluxos (q''_{conv} , q''_{rl} , q''_{er} , q''_{es}), adaptado de Silva (2000):

$$E_T = q''_{MET} - Q_T$$

em que: E_T é o equilíbrio térmico ($W m^{-2}$); Q_T é o fluxo total de calor (somatório dos fluxos q''_{conv} , q''_{rl} , q''_{er} , q''_{es}) ($W m^{-2}$).

2.7.4 Produção metabólica de calor

O metabolismo foi determinado pela diferença entre os volumes de O_2 , CO_2 , e CH_4 no ar inspirado e expirado, calculado de acordo com McLean (1972), usando adaptações de Haldane:

$$V_{ESTPD} = V_E \left\{ \left[\frac{(P_P\{T_A\} - P_S\{T_{EXP}\})}{(T_{EXP} + 273.15)} \right] \left(\frac{273.15}{101.325} \right) \right\}$$

em que: V_{ESTPD} é o volume minuto de ar expirado em condições normais de temperatura e pressão ($L s^{-1}$); $P_P\{T_A\}$ é pressão parcial de vapor do ar à temperatura do ar (kPa); $P_S\{T_{EXP}\}$ é a pressão de saturação do ar expirado à temperatura do ar expirado (kPa); T_{EXP} é a temperatura do ar expirado ($^{\circ}C$)

$$VO_2 = V_{ESTPD} \left[O_{2ATM} - O_{2EXP} \left(\frac{1 - O_{2ATM} - CO_{2ATM} - CH_{4ATM}}{1 - O_{2EXP} - CO_{2EXP} - CH_{4EXP}} \right) \right]$$

em que: VO_2 é o volume consumido de O_2 ($L s^{-1}$), O_{2ATM} é a proporção de O_2 na atmosfera (%); CO_{2ATM} é a proporção de CO_2 na atmosfera (%); CH_{4ATM} é a proporção de CH_4 na atmosfera (%); O_{2EXP} é a proporção de O_2 no ar expirado (%); CO_{2EXP} é a proporção de CO_2 no ar expirado (%); CH_{4exp} é a proporção de CH_4 no ar expirado (%).

$$VCO_2 = V_{ESTPD} \left[CO_{2EXP} - CO_{2ATM} \left(\frac{1 - O_{2ATM} - CO_{2ATM} - CH_{4ATM}}{1 - O_{2EXP} - CO_{2EXP} - CH_{4EXP}} \right) \right]$$

em que: VCO_2 é o volume consumido de CO_2 ($L s^{-1}$).

$$VCH_4 = V_{ESTPD} \left[CH_{4EXP} - CH_{4ATM} \left(\frac{1 - O_{2ATM} - CO_{2ATM} - CH_{4ATM}}{1 - O_{2EXP} - CO_{2EXP} - CH_{4EXP}} \right) \right]$$

em que: VCH_4 é o volume consumido de CH_4 ($L s^{-1}$).

A produção metabólica de calor (q''_{met} , $W m^{-2}$) foi obtida de acordo com Silva e Maia (2013), adaptado de Brouwer (1965) e McLean (1972):

$$q''_{MET} = \frac{16180VO_2 + 5160VCO_2 + 2420CH_4}{A_N}$$

em que: A_n é a área de superfície de animal, obtido de acordo com Simão (2017):

$$A_n = 0,1937 \cdot (P)^{0,5417}$$

em que: P é o peso do animal (kg).

2.7.5 Fluxo de calor por convecção

O fluxo de calor por convecção (q''_{conv} , $W m^{-2}$) será calculado por meio da aplicação da Lei de Resfriamento de Newton, de acordo com Incropera et al. (2013):

$$q''_{CONV} = hc(T_S - T_A)$$

em que hc é o coeficiente de convecção ($W m^{-2} K^{-1}$); T_S é a temperatura superficial do animal (K); T_A é a temperatura do ar (K). O hc foi calculado de acordo com Silva e Maia (2013), com a seguinte equação:

$$hc = \frac{k Nu}{d}$$

em que k é a condutividade térmica do ar ($W m^{-1} K^{-1}$); d é a dimensão característica do animal (m); e Nu é o número adimensional de Nusselt, admitindo que o animal é um cilindro vertical, calculado de acordo com Silva e Maia (2013).

2.7.6 Radiação de ondas longas

As trocas de calor por radiação de ondas longas (q''_{RL} , $W m^{-2}$) entre o animal e o seu meio foi calculado de acordo com Silva e Maia (2013):

$$q''_{RL} = \varepsilon\sigma(T_S^4 - T_{RM}^4)$$

em que: ε é a emissividade da capa de cobertura do animal ($\varepsilon=0,98$); σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67051 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$); T_S é a temperatura superficial do animal (K); T_{RM} é a temperatura radiante média (K), estimada de acordo com Silva et al. (2009):

$$T_{RM} = \left[\frac{h_G(T_G - T_A) + \varepsilon_G\sigma(T_G)^4}{\varepsilon_G\sigma} \right]^{\frac{1}{4}}$$

em que: h_G é o coeficiente de convecção do globo negro ($W m^{-2} K^{-1}$); T_G é a temperatura do globo (K); T_A é a temperatura do ar (K) e ε_G é a emissividade do globo negro.

2.7.7 Fluxo de calor por evaporação respiratória

O fluxo de calor por evaporação no trato respiratório (q''_{er} , $W m^{-2}$) foi calculado pela diferença de vapor de água no volume respiratório inspirado e expirado, de acordo com Silva e Maia (2013):

$$q''_{ER} = \frac{\lambda V_T R_R (\Psi_{EXP} - \Psi_{ATM})}{A_N}$$

em que λ é o calor latente de vaporização (J g^{-1}); V_T volume corrente (m^3 respirações); R_R frequência respiratória (respirações min^{-1}); Ψ_{ATM} (g m^{-3}) é a umidade absoluta da atmosfera; Ψ_{EXP} (g m^{-3}) é a umidade absoluta do ar expirado:

$$\Psi_{ATM} = \frac{2166.87 P_P \{T_A\}}{T_A}$$

$$\Psi_{ATM} = \frac{2166.87 P_P \{T_{EXP}\}}{T_{EXP}}$$

2.7.8 Fluxo de calor por evaporação na superfície cutânea

Para determinar o fluxo de calor por evaporação na superfície dos animais é preciso conhecer a umidade absoluta da epiderme à temperatura da mesma, que foi quantificada utilizando o método de cápsula ventilada, descrito por Maia et al. (2005). Utilizando-se uma cápsula ventilada com 5 cm de diâmetro fixada na superfície do animal (região da paleta) com auxílio de uma cinta elástica, conectada a um analisador de vapor de água por meio de uma mangueira plástica, que por sua vez é conectado a uma bomba, com fluxo regulado para 150 ml min^{-1} ; ao mesmo tempo, outro analisador determinou a pressão de vapor do ar atmosférico. Para quantificar o fluxo de calor na superfície cutânea do animal, admitisse que a superfície do animal se encontra totalmente saturada, dessa forma temos:

$$q''_{es} = \lambda \left[\frac{D Sh (\Psi_{EP} - \Psi_{ATM})}{d} \right]$$

em que: λ é o calor latente de vaporização (J g^{-1}); D = difusividade mássica ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$); Ψ_{EP} = umidade absoluta da epiderme a temperatura da epiderme (g m^{-3}); Ψ_{ATM} = umidade absoluta da atmosfera (g m^{-3}); d = dimensão característica do corpo (m) e Sh = número adimensional de Sherwood calculado de acordo com Silva e Maia (2013). A Ψ_{ATM} é obtida pelas seguintes equações:

$$P_S \{T_U\} = 0,61078 \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot T_U}{237,15 + T_U}}$$

$$P_P\{T_A\} = P_S\{T_U\} \cdot \gamma(T_A \cdot T_U)$$

$$\Psi_{ATM} = \frac{2166,87 \cdot P_P\{T_A\}}{T_A}$$

em que: $P_S\{T_U\}$ é a pressão de saturação de vapor do ar à temperatura do bulbo úmido (kPa), $P_P\{T_A\}$ é pressão parcial de vapor do ar à temperatura do bulbo úmido (kPa); para calcular a Ψ_{EP} admitimos que a $P_S\{T_{EP}\}$ é igual a $P_P\{T_A\}$, já que a superfície do animal está saturada, então:

$$P_S\{T_{EP}\} = P_P\{T_A\} = 0,61078 \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot T_{EP}}{237,15 + T_{EP}}}$$

$$\Psi_{EP} = \frac{2166,87 \cdot P_P\{T_{EP}\}}{T_{EP} + 273,15}$$

em que: $P_P\{T_A\}$ é a pressão de parcial da epiderme à temperatura da mesma (kPa).

2.7.9 Imagens



Figura 1. Seleção dos animais.



Figura 2. Recebimento dos animais.



Figura 3. Treinamento dos animais.



Figura 4. Treinamento dos animais.

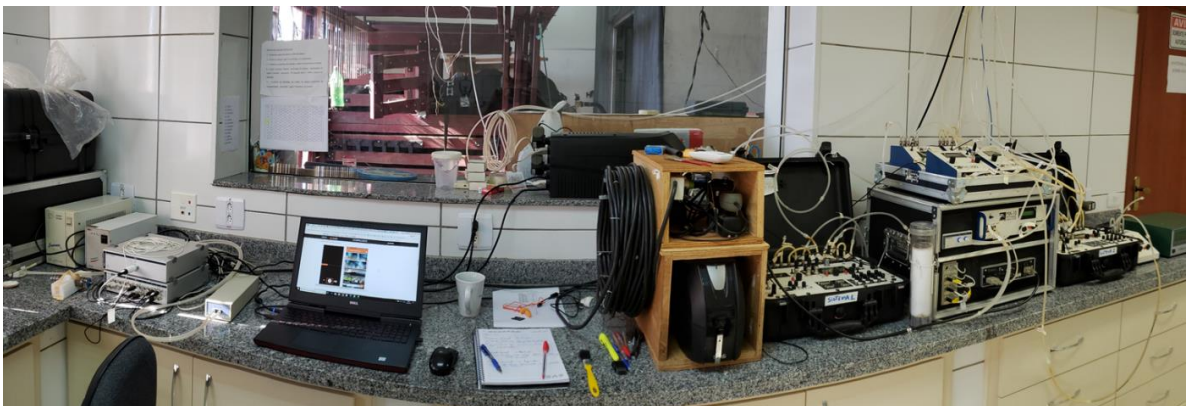


Figura 5. Equipamentos.

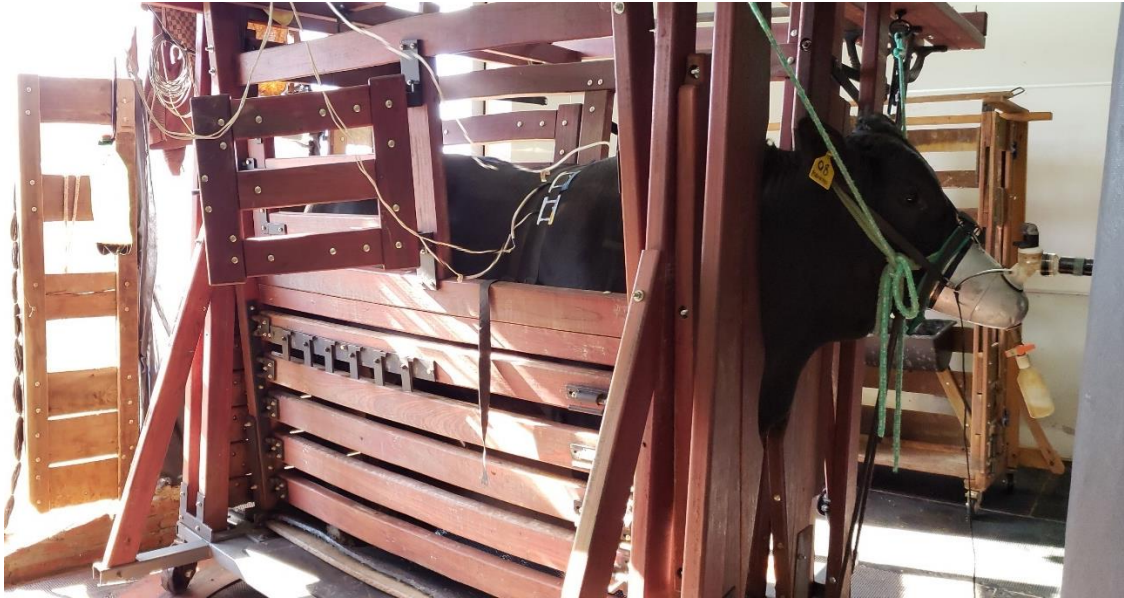


Figura 6. Coleta de dados.



Figura 7. Sensores de temperatura da epiderme, pelame e cápsula ventilada.