



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ZOOTECNIA

MATEUS MEDEIROS DOS SANTOS

ATRIBUTOS RESILIENTES DE TOUROS NELORE SOB O DESAFIO TÉRMICO
DA RADIAÇÃO SOLAR

MOSSORÓ

2020

MATEUS MEDEIROS DOS SANTOS

**ATRIBUTOS RESILIENTES DE TOUROS NELORE SOB DESAFIO TÉRMICO DA
RADIAÇÃO SOLAR**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Lelis de Macedo Costa.

Co-orientador: João Batista Freire de Souza Júnior

MOSSORÓ

2020

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S237a SANTOS, MATEUS MEDEIROS.

Atributos resilientes de touros nelore sob o desafio térmico da radiação solar / MATEUS MEDEIROS SANTOS. - 2020.

54 f. : il.

Orientador: Leonardo Lelis de Macedo Costa.
Coorientador: João Batista Freire de Souza Junior.

Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Zootecnia, 2020.

1. Desafio térmico. 2. Mecanismos biofísicas.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós Graduação da Universidade.

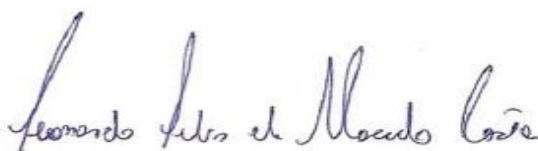
MATEUS MEDEIROS DOS SANTOS

**ATRIBUTOS RESILIENTES DE TOUROS NELORE SOB O DESAFIO TÉRMICO
DA RADIAÇÃO SOLAR**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Zootecnia.

Defendida em: 11 / 12 / 2020.

BANCA EXAMINADORA



Leonardo Lelis de Macedo Costa, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente



João Batista Freire de Souza Junior, Dr. (UFERSA)
Membro Examinador



João Paulo Araújo Fernandes de Queiroz, Prof. Dr. (UFRR)
Membro Examinador

DEDICATÓRIA

Dedico este Trabalho de Conclusão de Curso à minha família, em especial ao meu tio Antônio Bernardo dos Santos (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu bom Deus por sempre estar ao meu lado me protegendo e abençoando a cada nascer do dia e por sempre me guiar nos caminhos que escolho em minha vida;

Agradeço à minha família, em especial ao meu exemplo de vida, minha mãe Maria Nazaré Medeiros dos Santos e meu pai Manoel Bernardo dos Santos, por sempre me motivarem a seguir firme e forte nas jornadas da vida, por sempre me apoiarem nas minhas escolhas de vida, principalmente a escolha de ser Zootecnista. Aos meus irmãos Bruno Medeiros, Maria Adriana, Alexandre Medeiros e meu irmão gêmeo Moisés Medeiros por sempre me ajudarem nos momentos mais difíceis e por sempre compartilhar alegrias em família. Aos meus sobrinhos João Felipe, Maria Helena e Eduardo. À minha segunda mãe Mirthes e sua filha, minha madrinha Isabel Rosália;

A todos os amigos que foram companheiros e sempre me motivaram a seguir essa jornada com otimismo, fé e perseverança, Daniel Medeiros, Jefferson Gabriel, Valderi Mariz, Jéssica Ísis, Victor Alexsandro, Paloma Priscila, Maria Mariana, Ionara Darcya, Rafaela Costa, Terceiro Rodrigues, Josiany Carneiro, Robson, Paulo César, Victor José, Caio Wendel.

Aos amigos Zootecnistas Felipe Barreto e Marcel Lopes pelos ensinamentos que contribuíram e sempre contribuirão para a minha carreira profissional;

Aos meus orientadores Dr. Leonardo Lelis de Macedo Costa e o Dr. João Batista Freire de Souza Júnior pelos ensinamentos compartilhados durante três anos e pelas orientações ao conduzir este trabalho;

Ao grupo do Programa de Educação Tutorial de Zootecnia (PET-Zootecnia), em especial a tutora, profa. Dr^a. Patrícia de Oliveira Lima e todos os petianos pelos ensinamentos e experiências compartilhadas durante esses quatro anos;

Aos amigos do Laboratório de Biometeorologia, Dr. Thibério Castelo, Maiko Roberto, Cinthia Alves, Izábya Grasiely, Rodrigo Maia e Guilherme Costa por todas as experiências e momentos de brincadeiras compartilhados ao longo de três anos;

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido e a todos os professores que colaboraram para minha formação.

“Inteligência é a capacidade de se adaptar à mudança.”

Stephen Hawking

RESUMO

Nosso objetivo foi avaliar as respostas fisiológicas e biofísicas de touros Nelore expostos à radiação solar. O experimento foi conduzido com dezesseis touros Nelore, com idade média de três anos e peso corporal médio de 650 ± 32 kg, avaliados nas condições ambientais de Tibau, Rio Grande do Norte, Brasil ($5^{\circ}52'$ Sul, $37^{\circ}20'$ Oeste e 37 m acima do nível do mar), uma região equatorial semiárida sob influência da maritimidade. As coletas de dados foram realizadas durante quatro dias não consecutivos, iniciando às 7:00 e terminando às 17:00 horas, em intervalos regulares de uma hora. Em cada dia de coleta, foram analisados quatro animais, que foram mantidos continuamente expostos ao sol. Em intervalos regulares de um minuto, foram aferidas a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, a radiação solar direta e as temperaturas do globo através de uma estação meteorológica, enquanto a velocidade do vento foi aferida por meio de um termo-higro-anemômetro digital. Como variáveis fisiológicas, foram monitoradas a frequência respiratória, a temperatura do ar expirado, a temperatura retal e a temperatura da superfície corporal. Os mecanismos sensíveis e latentes de transferência de calor foram estimados através de equações biofísicas. Durante o período experimental, a temperatura do ar variou entre 28,5 e 32,5 °C e a radiação solar direta entre 21 e 891 W m⁻². Entre 11:00 e 13:00 horas foi observado um intenso fluxo de calor radiante, com os touros ganhando até 250 W m⁻² através da radiação de ondas longas. Nesse mesmo período, foi observado um aumento significativo ($P < 0,05$) da frequência respiratória e da temperatura da superfície corporal. A convecção foi importante na dissipação de calor, principalmente quando foi potencializada pela velocidade do vento a partir das 11:00 horas. No entanto, apesar da contribuição da termólise convectiva, as perdas latentes de calor foram mais eficientes sob a condição de exposição total ao sol. Os Touros da raça Nelore mantêm a temperatura corporal dentro de limites estreitos mesmo quando expostos a alta radiação solar. Isto evidencia a eficiência dos mecanismos fisiológicos e biofísicos nos horários do dia de maior desafio térmico.

Palavras-chave: Mecanismos biofísicos. Respostas fisiológicas. Semiárido. Termorregulação.

ABSTRACT

Our objective was to evaluate the physiological and biophysical responses of Nellore bulls exposed to solar radiation. The experiment was conducted with sixteen Nellore bulls, with an average age of three years and an average body weight of 650 ± 32 kg, evaluated in the environmental conditions of Tibau, Rio Grande do Norte, Brazil ($5^{\circ} 52'$ South, $37^{\circ} 20'$ West and 37 m above sea level), a semiarid equatorial region under the influence of maritimity. Data collections were performed for four non-consecutive days, starting at 7:00 am and ending at 5:00 pm, at regular hourly intervals. On each collection day, four animals were analyzed, which were kept continuously exposed to the sun. At regular one-minute intervals, air temperature, relative air humidity, direct solar radiation and globe temperatures were measured through a weather station, while wind speed was measured using a thermo-hygro- digital anemometer. As physiological variables, respiratory rate, exhaled air temperature, rectal temperature and body surface temperature were monitored. The sensitive and latent mechanisms of heat transfer were estimated using biophysical equations. During the experimental period, the air temperature varied between 28.5 and 32.5°C and direct solar radiation between 21 and 891 W m^{-2} . Between 11:00 and 13:00 hours an intense flow of radiant heat was observed, with bulls gaining up to 250 W m^{-2} through long wave radiation. In the same period, a significant increase ($P < 0.05$) in respiratory rate and body surface temperature was observed. Convection was important in the dissipation of heat, especially when it was enhanced by the wind speed from 11:00 am. However, despite the contribution of convective thermolysis, latent heat losses were more efficient under the condition of total exposure to the sun. Nellore bulls maintain body temperature within narrow limits even when exposed to high solar radiation. This shows the efficiency of the physiological and biophysical mechanisms at the time of the day of greatest thermal challenge.

Keywords: Thermal challenge. Biophysical mechanisms. Physiological responses. Semiarid. Thermoregulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama da variação da temperatura corporal em relação ao aumento da temperatura ambiente. Adaptado de Ehrlemark; Sallvik (1996).	17
Figura 2 - Descrição dos efeitos do estresse térmico sobre as respostas comportamentais e fisiológicas de bovinos. 1 - Radiação solar direta de ondas curtas; 2 - Radiação difusa; 3 - Radiação de ondas curtas refletida pelas nuvens; 4 - Radiação de ondas curtas refletida pela superfície do solo; 5 - Radiação celeste de ondas curtas; 6 - Trocas de calor por condução; 7 - Radiação de ondas longas emitidas pela circunvizinhança; 8 - Troca de calor por radiação de ondas longas; 9 - Perda de calor via evaporação cutânea; 10 – Troca de calor por convecção; 11 – Perda de calor por evaporação pulmonar.	21
Figura 3 - Sensor tipo K conectado ao dispositivo facial (A) desenvolvido para mensuração da temperatura do ar expirado de bovinos.....	32
Figura 4 - Variáveis ambientais durante o período diurno, temperatura do ar (A), velocidade do vento (B), umidade relativa (C), temperatura radiante média (D), carga térmica radiante (E) e radiação Solar direta (F).	35
Figura 5 - Temperatura retal, (°C) de touros Nelore durante o período diurno. (●) Indicam as médias em cada horário. (○) indicam todos os dados observados. (Θ) indicam os outliers....	36
Figura 6 - Frequência respiratória, (resp.min ⁻¹) de touros Nelore durante o período diurno. (●) Indicam as médias em cada horário. (○) indicam todos os dados observados. (Θ) indicam os outliers. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as horas (Teste de Tukey; P < 0,05).....	37
Figura 7 - Temperatura Superficial, (°C) de touros Nelore durante o período diurno. (●) Indicam as médias em cada horário. (○) indicam todos os dados observados. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as horas (Teste de Tukey; P < 0,05).....	38
Figura 8 - Troca de calor por radiação de ondas longas (W.m ⁻²) de touros Nelore durante o período diurno. (●) Indicam as médias em cada horário. (○) indicam todos os dados observados. (Θ) indicam os outliers. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as horas (Teste de Tukey; P < 0,05).	39
Figura 9 - Troca de calor sensível por convecção (W.m ⁻²) de touros Nelore durante o período diurno. (●) Indicam as médias em cada horário. (○) indicam todos os dados observados. (Θ) indicam os outliers. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as horas (Teste de Tukey; P < 0,05).....	40

Figura 10 -Perda de calor latente por Evaporação Cutânea ($W.m^{-2}$) de touros Nelore durante o período diurno. (●) Indicam as médias em cada horário. (○) indicam todos os dados observados. (Θ) indicam os outliers. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as horas (Teste de Tukey; $P < 0,05$).41

Figura 11 - Perda de calor latente por Evaporação Respiratória ($W.m^{-2}$) de touros Nelore durante o período diurno. (●) Indicam as médias em cada horário. (○) indicam todos os dados observados. (Θ) indicam os outliers. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as horas (Teste de Tukey; $P < 0,05$)......42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Principais fatores que influenciam as respostas fisiológicas e biofísicas e as principais estratégias para aliviar o estresse térmico de bovinos	19
---	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral.....	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3.1 Estresse térmico em bovinos	16
3.2 Respostas fisiológicas.....	18
3.2.1 Temperatura Retal.....	22
3.2.2 Frequência Respiratória.....	22
3.2.3 Temperatura Superficial.....	23
4. MECANISMOS BIOFÍSICOS DE TROCAS TÉRMICAS	25
4.1 Mecanismos sensíveis.....	25
4.1.2 Radiação de ondas longas	26
4.1.3 Convecção	27
4.1.4 Condução.....	27
5. MECANISMOS EVAPORATIVOS DE TERMÓLISE	28
5.1 Evaporação cutânea.....	28
5.2 Evaporação respiratória.....	29
6. MATERIAIS E MÉTODOS	31
6.1 Local de estudo e animais.....	31
6.2 Variáveis meteorológicas.....	31
6.3 Variáveis fisiológicas.....	32
6.4 Mecanismos sensíveis.....	32
6.5 Mecanismos evaporativos.....	33
6.6 Análise Estatística	34
7. RESULTADOS	35
7.1 Variáveis ambientais.....	35
7.2 Respostas fisiológicas	36
7.3 Trocas de calor sensível.....	38
7.4 Perda de calor latente	40
8. DISCUSSÃO	43
9. CONCLUSÕES.....	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1. INTRODUÇÃO

As alterações significativas na distribuição anual e no volume da precipitação pluviométrica, bem como o aumento na temperatura da superfície terrestre em uma escala de 0,4 °C a 2,6 °C previstos até o ano de 2065, como consequências das mudanças climáticas, representam um desafio para a pecuária mundial (IPCC, 2014; Giannini et al., 2017; Samand et al., 2020). No futuro, os sistemas de criação e produção animal podem ser afetados negativamente pelas variáveis meteorológicas, como a radiação solar, temperatura atmosférica, vento e umidade atmosférica.

Essas mudanças climáticas poderão acarretar em uma série de fatores agravantes para os animais de produção, como o desequilíbrio fisiológico, levando a um menor consumo de nutriente, com consequente efeito deletério sobre a saúde e reprodução animal, tornando-se desafiador para os pecuaristas aprimorar a produção animal (Das et al., 2016; Samand et al., 2020). No entanto, os zebuínos possuem várias características morfofisiológicas que os fazem resistir a situações de desafio térmico: cor da pelagem clara, epiderme pigmentada e pelos bem assentados (McManus et al., 2011), elevado número e atividade das glândulas sudoríparas (Nascimento et al., 2019), e também a uma menor relação entre a área da superfície e o volume corporal, devido à grande massa corporal quando comparados a animais de pequeno porte (Silva, 2000). Esta resiliência ao estresse térmico dos zebuínos pode contribuir para uma maior tolerância ao calor em ambiente tropical sem comprometer a produtividade animal (Costa et al., 2015; Sailo et al., 2017; Madhusoodan, et al., 2019; Lima et al., 2020).

Quando protegidos da radiação solar os bovinos da raça Nelore conseguem manter sua fisiologia normal mesmo quando submetidos à elevada temperatura do ar. Nestas condições, a evaporação cutânea se apresenta como o mecanismo mais eficiente para manter o equilíbrio térmico (Costa et al., 2018b). Entretanto, quando os animais são criados em condições de pastagem, a radiação solar contribui para o aumento da temperatura corporal; as trocas de calor sensível são comprometidas, levando os animais a mobilizarem energia metabólica para ativação dos mecanismos de perda de calor por evaporação cutânea e respiratória no intuito de dissipar o excesso de calor.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar as respostas fisiológicas e biofísicas de touros da raça Nelore expostos à radiação solar direta.

2.2 Objetivos Específicos

1. Avaliar as respostas fisiológicas (temperatura retal, temperatura da superfície corporal e frequência respiratória) de touros Nelore.
2. Avaliar as trocas de calor sensíveis (convecção e radiação de ondas longas) de touros Nelore;
3. Avaliar a perda de calor latente (evaporação cutânea e respiratória) de touros Nelore;

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Estresse térmico em bovinos

O estresse térmico é considerado um dos principais entraves para um sistema produtivo eficiente e pode acarretar inúmeros efeitos negativos sobre os bovinos. De maneira geral, o HS causa aumento da temperatura corporal e ativação do eixo hipotálamo-hipófise, ocasionando elevação no consumo de água e, conseqüentemente, uma diminuição na ingestão de matéria seca, resultando em perda de peso e atraso no desenvolvimento corporal e, além disso, pode levar à óbito em casos extremos (Kamal et al., 2018).

Na bovinocultura, a severidade do estresse térmico é observada na diminuição da produção de leite e retardo no ganho de peso (Baumgard and Rhoads, 2013). Os efeitos das variáveis meteorológicas como a temperatura do ar, a velocidade do vento, a umidade relativa do ar e a radiação solar, o que exerce efeito sobre os animais principalmente aos bovinos expostos a radiação solar direta (Santos et al., 2019; Abdelnour et al. 2019).

Os bovinos, sendo animais homeotérmicos, conseguem manter a temperatura corporal interna relativamente constante, dentro de limites estreitos. Em situações de desconforto térmico (frio ou calor), esses animais ativam mecanismos termorregulatórios na tentativa de manterem-se dentro desses limites (Godyn et al., 2019).

Na figura 1 temos o gráfico da homeotermia, no qual a zona de sobrevivência de um animal homeotérmico qualquer encontra-se subdividida em duas zonas térmicas: a zona de termoneutralidade e a zona de homeotermia. Na zona de termoneutralidade, que é delimitada pela temperatura crítica inferior (TCI) e pela temperatura crítica superior (TCS), os animais encontram-se em conforto térmico e a taxa metabólica é mínima (Godyn et al., 2019). Nessas condições, não há necessidade do animal ativar mecanismos fisiológicos para perder calor para o ambiente ou gerar calor endógeno, mantendo a temperatura corporal em equilíbrio com a temperatura do ambiente e destinando toda sua energia para maximizar seu desempenho (produção, reprodução etc). Nessa situação, os mecanismos sensíveis de troca de calor são suficientes para manter o equilíbrio térmico dos animais.

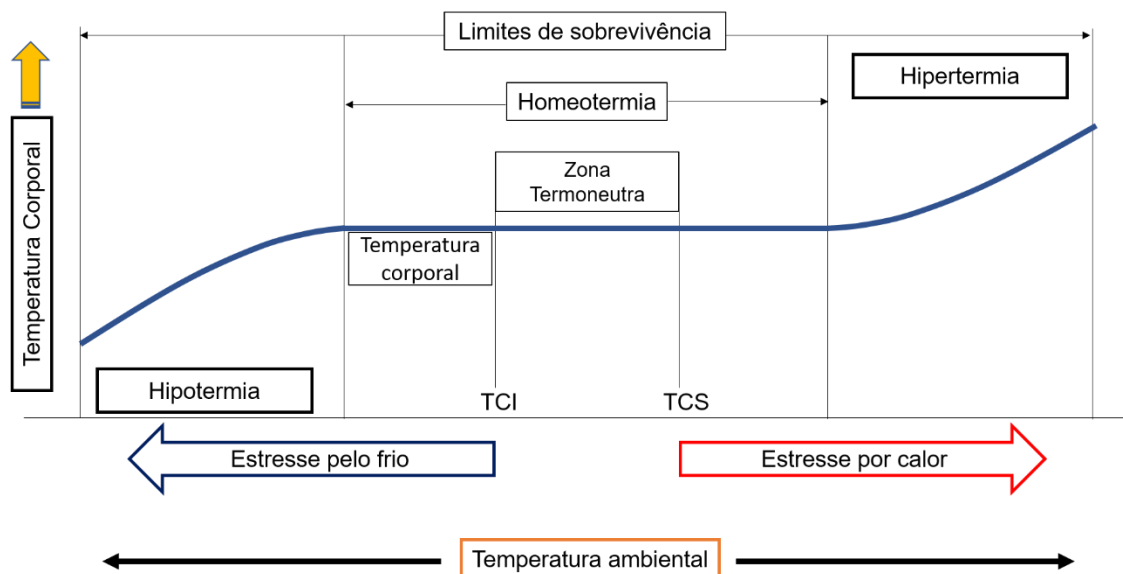


Figura 1 - Diagrama da variação da temperatura corporal em relação ao aumento da temperatura ambiente. Adaptado de Ehrlemark; Sallvik (1996).

Na zona de homeotermia, ao ultrapassar o limite da temperatura crítica superior, a temperatura do ambiente desafia os animais a ativarem os mecanismos de termólise evaporativa (Kamal et al 2016; Sejian et al. 2018). Com a temperatura ambiente chegando ao limite da TCS, os bovinos modificam seu comportamento, como por exemplo: começam a buscar sombra, aumentam a ingestão de água e diminuem a ingestão de alimentos, além de deitarem-se próximo a superfícies mais frias (Ratnakaran et al 2017; Madhussodan et al., 2019). Quando a temperatura crítica inferior é atingida, o sistema termorregulador dos animais é ativado para reter calor corporal e/ou produzir calor endógeno (termogênese). Isto ocorre aumentando o consumo de alimentos para gerar calor metabólico através da queima dos nutrientes no sistema digestório e também modificando seu comportamento para retenção de calor, como por exemplo, juntam-se em grupos e evitam deitar-se em superfícies frias, além da exposição direta à radiação solar caso tenham acesso.

Finalmente, se a temperatura ambiental continuar aumentando ou diminuindo, os animais apresentarão, respectivamente, quadros de hipertermia e hipotermia (Figura 1). Neste caso, ocorre desnaturação das proteínas corporais com consequente danos às funções fisiológicas (Bettaieb e Averill-Bates, 2015). Se as condições do ambiente não forem alteradas para proporcionar conforto térmico, os animais poderão vir à óbito. Nesse cenário, o entendimento da zona de conforto dos animais é crucial para a tomada de decisão a respeito de proporcionar ambientes para mitigar os efeitos do estresse térmico, e que esse ambiente possibilite os animais expressarem o máximo do seu potencial genético.

3.2 Respostas fisiológicas

Para sobreviver em condições ambientais adversas, os animais buscam modificar seu comportamento e fisiologia (Figura 2). A exposição dos animais a altas temperaturas e à radiação solar causa elevação da temperatura corporal. O calor corporal excedente deve ser dissipado (Tabela 1), fazendo com que ocorra uma atividade mais intensa dos mecanismos fisiológicos, os quais são evidenciados pelo aumento da frequência respiratória, temperatura retal e da superfície corporal, dentre outros (Sharma et al., 2013; Rashamol et al., 2018).

Tabela 1- Principais fatores que influenciam as respostas fisiológicas e biofísicas de bovinos.

Raça	Gênero	Fator	Localização Geográfica	Principais resultados	Autores
<i>Nelore</i>	Machos	Alta temperatura	Brasil	Em ambientes com temperatura acima de 30 °C a maior parte do calor produzido pelo metabolismo é dissipado pela evaporação cutânea.	Costa et al., (2018a)
<i>Nelore</i>	Machos	Padrão circadiano	Brasil	Há menor gasto energético para perder calor durante o período noturno onde os animais utilizam os mecanismos sensíveis com maior eficiência. Durante o dia, os mecanismos latentes tornam-se mais importantes para termorregulação.	Costa et al., (2018b)
<i>Guzerá</i>	Machos e Fêmeas	Equilíbrio térmico	Brasil	Menor frequência respiratória dos animais indica melhor condicionamento ao manejo, podendo ser utilizado como critério de seleção. A temperatura do ar influencia diretamente a temperatura da superfície do pelo, pele e temperatura do ar expirado, já a temperatura retal depende da hora do dia. O fluxo de calor sensível diminui com o aumento da temperatura, entretanto o a perda de calor latente respiratório praticamente não variou com o aumento da temperatura.	Camerro et al., (2016)
<i>Holandês</i>	Fêmeas	Perda de calor evaporativa e não evaporativa	Brasil	Em ambientes com temperaturas elevadas a evaporação cutânea corresponde a 85 % da perda de calor total em vacas da raça holandesa, enquanto a troca de calor sensível torna-se pouco eficiente quando os animais são termicamente desafiados.	Maia et al., (2005a)
<i>Holandês</i>	Fêmeas	Predição da perda de calor respiratório	Brasil	No ambiente tropical com temperatura do ar acima de 20 °C a evaporação torna-se cada vez mais alta. A troca de calor por convecção tem menor importância para a transferência de calor, enquanto a evaporação respiratória foi um meio eficaz para dissipar de calor.	Maia et al., (2005b)

<i>Holandês</i>	Fêmeas	Exposição ao sol; pigmentação do pelame	Brasil	Vacas da raça holandesa que apresentam mais áreas com pelame negro, apresentam uma maior taxa de sudação, termólise cutânea e temperatura da superfície em relação as vacas com pelame branco.	Silva e Maia (2011)
<i>Holandês, Simental, Canchin, Brangus e Nelore</i>	Fêmeas e Machos	Radiação solar de onda curtas sobre as propriedades do pelo e da pele.	Brasil	A pelagem branca possui maior capacidade de reflectância em relação a pelagens mais escuras. Peles não pigmentadas apresentam menores valores de reflectância. Pele pigmentada e pelagem clara sugerem maior proteção contra a radiação ultravioleta e reduz o aquecimento da superfície pela radiação de ondas longas.	Silva et al., (2003)
<i>Girolando</i>	Fêmeas	Parâmetros fisiológicos, produtivos e reprodutivos	Brasil	As vacas da raça girolando ($\frac{1}{2}$ <i>Holandês</i> $\frac{1}{2}$ <i>Gir</i>) apresentou frequência respiratória e temperatura retal dentro da normalidade, melhores parâmetros reprodutivos e maior capacidade termorregulatória em relação as vacas da raça girolando ($\frac{3}{4}$ <i>Holandês</i> $\frac{1}{4}$ <i>Gir</i>).	Costa et al., (2015)
<i>Nelore</i>	Machos	Exposição à radiação solar	Brasil	Em horários de maior radiação solar direta, touros nelore desencadeiam mecanismos termorregulatórios como o sistema respiratório para manter a temperatura corporal dentro dos limites estreitos.	Santos et al., (2019)
<i>Angus e Simental</i>	Machos	Adaptação ao calor de raças taurinas	Brasil	A estação do ano afeta os aspectos morfológicos e fisiológicos dos bovinos angus e Simental criados no Brasil. A raça Simental mostra-se mais tolerante ao calor em relação a raça angus.	Baena et al., (2019)
<i>Canchin</i>	Machos	Respostas termorregulatória e reprodutiva	Brasil	Mesmo sob um desafio térmico progressivo, os touros da raça canchin não teve a capacidade termorregulatória escrotal afetada, mantendo-se 5,2 °C abaixo da temperatura corporal interna. A capacidade termorregulatória desses animais propõe uma alternativa viável para a criação em ambiente tropical.	Romanello et al., (2018)
<i>Sahiwal e Karan Freis</i>	Fêmeas	Efeito das estações do ano sobre a termorregulação	Índia	As vacas Sahiwal são menos sensíveis aos aumentos da temperatura durante o verão, apresentando uma maior capacidade termoregulatória devido a menor taxa metabólica, maior capacidade de sudorese em relação a raça karan freis.	Saiolo et al., (2017)

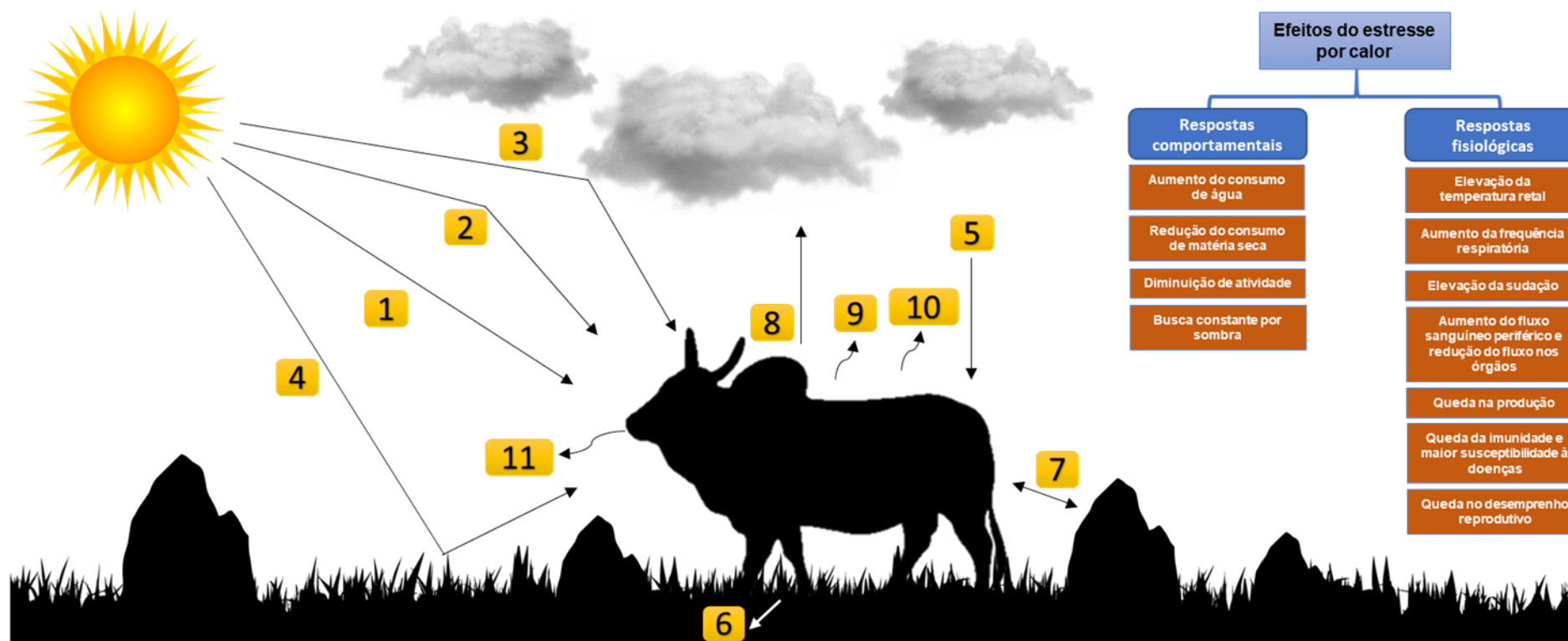


Figura 2- Descrição dos efeitos do estresse térmico sobre as respostas comportamentais e fisiológicas de bovinos. 1 - Radiação solar direta de ondas curtas; 2 - Radiação difusa; 3 - Radiação de ondas curtas refletida pelas nuvens; 4 - Radiação de ondas curtas refletida pela superfície do solo; 5 - Radiação celeste de ondas curtas; 6 - Trocas de calor por condução; 7 - Radiação de ondas longas emitidas pela circunvizinhança; 8 - Troca de calor por radiação de ondas longas; 9 - Perda de calor via evaporação cutânea; 10 - Troca de calor por convecção; 11 - Perda de calor por evaporação pulmonar

3.2.1 Temperatura retal

A temperatura corporal é determinada pelo equilíbrio entre a perda e ganho de calor, sendo referenciada pela temperatura retal dos animais (Costa et al., 2015) e pode variar de 38,65 a 39,05 °C em diferentes raças zebuínas (Cardoso et al., 2015). Quando expostos ao estresse térmico os animais tentam dissipar o máximo de calor possível para equilibrar a temperatura corporal e, um aumento da temperatura retal (TR, °C) dos animais, poderá ocorrer em condições ambientais termicamente estressantes (Rashamol et al., 2018). Em um ambiente em que a amplitude da temperatura do ar ultrapassa 10 °C variando de 20 °C a 35 °C, a TR de bovinos da raça Nelore protegidos da radiação solar manteve-se praticamente constante (39,0 °C a 39,4 °C), sendo verificado a eficiência dos mecanismos termorregulatórios para manter a temperatura corporal dentro de limites estreitos (Costa et al., 2018b). Em condições de pastejo em um ambiente tropical, os bovinos da raça Nelore apresentam uma pequena variação na TR, de 38,9 °C a 39,2 (Menegassi et al., 2016).

Em regiões tropicais, os altos índices de radiação solar podem ocasionar efeitos negativos a fisiologia e a termorregulação dos animais (Tabela 1), tornando-se um fator agravante a mais ao estresse térmico e consequentemente levando a queda de desempenho produtivo (Nardone et al., 2010; Gaughan, et al., 2010b). Quando expostos a radiação solar a TR de bovinos da raça Nelore apresentam uma pequena amplitude de 38,4 a 38,6 °C, no entanto, essas variações menores que 0,5 °C na RT do gado Zebu em diferentes condições ambientais mostra que os mecanismos termorregulatórios desses animais são bastante eficientes para manter sua TR constante independente da variação da temperatura do ar e radiação solar direta (Santos et al., 2019).

3.2.2 Frequência Respiratória

A frequência respiratória (FR, resp/min) em bovinos é facilmente detectada pela observação dos movimentos dos flancos. Este indicador fisiológico é utilizado com o objetivo de dissipar o excesso de calor para o ambiente (Sailo et al., 2017). Em situações de estresse térmico, os animais tendem a elevar a FR para aumentar a taxa de evaporação respiratória e, desta forma, perder calor para o ambiente. Na espécie *Bos indicus* a FR média pode variar de 33,75 a 41 resp/min de acordo com raça, temperatura do ar e horário do dia (Cardoso et al., 2015). A FR também pode variar de acordo com as estações do ano, variando de 40,8 resp/min

no inverno, 38,7 resp/min na primavera e 33,2 resp/min no verão em animais provenientes de cruzamentos entre as espécies *Bos taurus* e *Bos indicus* (Romanello et al., 2018). Em estudo de Santos et al., (2019), avaliando as características termofisiológicas de touros da raça Nelore expostos à radiação solar, verificaram que ao longo do dia a FR desses animais variou de 27 a 36 resp/min. No entanto, uma variação de 7 resp/min torna-se um valor insignificante para ser considerado um indicativo de estresse térmico dos animais (Romanello et al., 2018), mesmo apresentando diferenças de acordo com as raças zebuínas e cruzamentos, assim como estação do ano, hora do dia e exposição à radiação solar. A termorregulação dos bovinos *Bos taurus* pode ser afetada quando estão situados no clima tropical, principalmente a FR ultrapassa 80 resp/min nos horários mais quentes do dia (Baena et al., 2019). Apesar da produtividade atribuída aos bovinos *Bos taurus*, a sua baixa tolerância a regiões de clima quente é um importante critério de decisão para a criação dessa espécie nesse tipo de clima, uma vez que podemos optar por animais mais adaptados (zebu) a ambientes com altas temperaturas e radiação solar.

3.2.3 Temperatura Superficial

A temperatura da superfície corporal (TS, °C) de bovinos pode ser aferida através de um sensor infravermelho (Santos et al., 2019) e da termografia infravermelha, um método não invasivo, capaz de medir a radiação infravermelha emitida pela superfície corporal do animal (Church et al., 2014; Sejian et al 2018). São várias as regiões corporais de um animal que podem ser medidas a temperatura superficial, como dorso e flancos (Romanello et al., 2018), região ocular, focinho e bochechas (Montanholi et al., 2009; Colyn, 2013)

A temperatura superficial é um importante resposta ao estresse térmico, a qual é influenciada diretamente pelo ambiente no qual o animal está inserido, como a temperatura do ar, radiação (Lima et al., 2020). Quando essas variáveis ambientais estão elevadas, a TS tende a aumentar levando a uma vasodilatação periférica. Isto é verificado através do aumento do fluxo sanguíneo nos vasos capilares, o que pode facilitar a dissipação de calor para o ambiente (Katiyatiya et al 2017; Madhusoodan, et al., 2019).

As características da pelagem e epiderme do animal também influenciam a TS, onde, em ambientes tropicais, a pelagem de cor branca, epiderme escura, pelos curtos e densos favorece o equilíbrio térmico dos animais de produção (Maia et al., 2005; Romanello et al., 2018). A cor da pelagem é uma característica importante contra a radiação (McManus et al., 2011). Quando a radiação solar direta chega à superfície do pelame dos animais, parte é refletida

e outra parte é absorvida. Em animais com pelagens predominantemente branca, cerca de 60% a 67% da quantidade de radiação solar animais é refletida de volta para o ambiente (Silva et al., (2003).

O aumento da TA e elevada incidência de radiação solar pode elevar a TS. Uma variação na TS pode ser notada em animais de raças distintas em situações de exposição à radiação solar direta e elevadas TA. Em estudos realizados por Lima et al., (2020), com touros da raça Nelore e Caracu, durante o verão e expostos ao sol, verificou-se que animais da raça Nelore apresentaram uma TS de 41,5 °C enquanto a raça Caracu de 44,2 °C. Essa diferença pode ter sido explicada pela cor da pelagem dos animais, uma vez em que superfícies brancas refletem mais radiação do que absorve em relação a superfícies de cores mais escuras, ocasionando essa diferença. Em ambientes sombreados, não há uma diferença significativa para a TS para animais da mesma raça (Camerro et al., 2016) ou entre raças distintas (Lima et al., 2020), verificando que a TS é influenciada principalmente por fatores ambientais como a TA e radiação solar.

4. MECANISMOS BIOFÍSICOS DE TROCAS TÉRMICAS

Os animais podem perder calor pelas trocas térmicas sensíveis e latentes. Para que ocorram as trocas térmicas da forma sensível é necessário que haja uma diferença de temperatura entre o corpo do animal e o ambiente, ou seja, a perda de calor ocorre, quando a temperatura do corpo do animal é maior que a temperatura ambiental (Collier e Gebremedhin 2015). É compreendido que a perda de calor sensível ocorre por meio da condução, convecção e radiação. Quando a temperatura ambiental se encontra igual ou maior a do corpo do animal, as trocas térmicas sensíveis tornam-se insignificantes e podem ser vias de ganho de calor (Collier e Gebremedhin 2015). As condições do ambiente como a temperatura e umidade relativa do ar são variáveis importantes que ocasionam mudanças na termorregulação dos bovinos. Estas variáveis são fundamentais para estimar as trocas de calor entre o animal e o meio ambiente, embora existam outros fatores importantes como a velocidade do vento e a radiação solar (Herbut et al., 2018; Godyn et al., 2019). As variações que ocorrem em relação a velocidade do vento possuem efeito direto sobre o resfriamento através da convecção, que pode ter efeito positivo ou negativo, assim como a exposição à radiação solar (Herbut et al., 2013; Godyn et al., 2019).

A exposição à radiação solar direta desafia a termorregulação dos animais, onde os bovinos, ao se deparar com temperaturas ambientais superiores à sua temperatura corporal, ativam os mecanismos de perda de calor latente, conhecidos como evaporação cutânea e respiratória. Esses mecanismos latentes não dependem de um gradiente de temperatura entre o ambiente e a superfície corporal dos animais. No entanto, a umidade do ar desempenha um papel fundamental para que a evaporação possa acontecer de forma eficiente. Quando a umidade relativa do ar está alta, a quantidade de água na forma de vapor que está no ar também se encontra elevada, e dessa forma afeta eficiência da perda de calor por evaporação (Baena, et al., 2019).

4.1 Mecanismos sensíveis

Há três tipos de mecanismos de transferência de calor sensível entre os animais e o seu ambiente: radiação de ondas longas, convecção e condução. Nestes mecanismos, o gradiente de temperatura entre o corpo do animal e o ambiente determina a direção da transferência de calor (perda ou o ganho), ou seja, quando a temperatura do animal é maior que a do ambiente, o animal perde calor. No entanto, quando a temperatura ambiental se encontra superior à do

animal, os mecanismos supracitados se tornam vias de ganho de calor para o animal (Collier e Gebremedhin, 2015).

4.1.2 Radiação de ondas longas

A troca de calor por radiação de ondas longas ocorre via transferência de energia térmica através de ondas eletromagnéticas. Segundo Bermam (2013), a posição do animal, em pé ou deitado, influencia na dissipação de calor corporal por meio da radiação, ao passo que quando o animal está deitado, a perda de calor por radiação é diminuída. O mesmo autor ainda relata que, em ambientes sombreados onde os bovinos estão muito próximos, há um prejuízo quanto à perda de calor por radiação devido a menor exposição da superfície corporal dos animais; a proximidade entre dois corpos ainda faz com que haja um ganho de calor, elevando a quantidade de calor a ser dissipado por outros mecanismos.

Bovinos da raça Nelore na região tropical e protegidos do sol, apresentam uma perda de calor por radiação entre 36 W.m^{-2} a 52 W.m^{-2} ao longo do dia, sofrendo um decréscimo nos horários mais quentes (12:00 às 14:00 horas), onde a temperatura radiante média se eleva ficando maior que a temperatura da superfície do animal, esse mecanismo torna-se uma via de ganho de calor (Costa et al., 2018a). Em vacas Holandesas no período de lactação, situadas em ambientes de clima quente e sombreados, um valor de 60 W.m^{-2} de perda de calor por radiação foi verificado (Berman, 2014). A troca de calor por radiação de ondas longas em bovinos da raça Nelore pode ser favorecida quando esses animais são protegidos da radiação solar direta, onde observa-se a TS superior a TRM levando esse mecanismo a corresponder a uma perda de calor de 40 W.m^{-2} entre 10:00 e 14:00 horas (Costa et al., 2018b). Entretanto, bovinos Nelore quando não protegidos da radiação solar direta em ambiente semiárido, a troca de calor por radiação de ondas longas torna-se uma via de ganho, chegando a um ganho médio de 250 W.m^{-2} nos horários mais quentes do dia (Santos, dados não publicados).

4.1.3 Convecção

A transferência de calor por convecção depende de um gradiente térmico entre a superfície corporal dos animais e o meio ambiente. A perda de calor por convecção é influenciada diretamente pela velocidade do vento (Schutz et al., 2010; LokeshBabu et al., 2018), a qual rompe a resistência da camada limite da superfície corporal dos bovinos (Berman, 2019), alterando a temperatura da superfície do animal.

A convecção pode ser natural, forçada ou combinada. A convecção natural depende da movimentação do ar sobre a superfície do corpo de um animal causada por mudança na densidade do ar oriunda da diferença de temperatura entre a camada limite e a atmosfera. A convecção forçada ocorre mediante a diferença de pressão externa sobre o corpo do animal, normalmente associada a sistemas mecânicos (Collier e Gebremedhin., 2015). Em diversas circunstâncias, a convecção natural pode ser associada com a convecção forçada e, nesses casos, para se ter uma certeza de qual convecção está ocorrendo calcula-se a relação Gr/Re^2 , onde, se $Gr/Re^2 \geq 3$ a convecção é natural, se $Gr/Re^2 \leq 0,08$ a convecção é forçada, se $0,08 < Gr/Re^2 < 3$ a convecção é forçada, onde Gr e Re correspondem, respectivamente, aos números adimensionais de Grashof e Reynolds (Silva, 2008).

Em experimentos com bovinos Nelore protegidos do sol, Costa et al., (2018b) verificou uma perda de calor por convecção nos horários em que a temperatura do ar estava menor que 25 °C, entre 00:00 e 08:00 e das 16:00 às 23:00 a perda de calor por convecção apresentavam valores de 27 a 40 W m⁻². Essa perda de calor também pode ser explicada pela diferença de temperatura do ar e de superfície, pois a amplitude entre elas nos horários citados acima chegava a 10 °C. A troca de calor por convecção em touros Nelore ao sol pode corresponder a uma perda de 70 W. m⁻² em média nos horários entre 11:00 e 17:00 horas, sendo favorecida pelo gradiente de temperatura entre a TS e TA e influenciada também pela Vv (Santos, dados não publicados).

4.1.4 Condução

A troca de calor por condução ocorre pelo contato direto entre duas superfícies por meio do deslocamento de energia cinética das moléculas, passando por um fluxo de moléculas mais energizadas para menos energizadas (Silva e Maia, 2013). A perda de calor por condução pode ser significativa quando um animal superaquecido entra em contato com superfícies úmidas (Oliveira et al., 2014). Por outro lado, o animal evita deitar-se em superfícies onde a temperatura está maior do que sua temperatura corporal, evitando o ganho de calor por condução (Oliveira

et al., 2019). A condução poderá ser insignificante quando os animais estão em pé, devido à reduzida área corporal em contato com a superfície mais fria (Collier e Gebremedhin 2015).

5. MECANISMOS EVAPORATIVOS DE TERMÓLISE

A variação da temperatura do meio ambiente dificulta a dissipação de calor sensível, e nesse caso leva os animais a ativarem os mecanismos de perda de calor latente por evaporação cutânea e respiratória. Segundo Maia et al., (2005a), em bovinos adultos, a evaporação cutânea é responsável por 85% da dissipação de calor latente e o restante pela evaporação respiratória. No entanto, essa forma de termólise pode ser dificultada quanto a umidade relativa e a temperatura do ar encontram-se elevadas, o que pode levar os animais ao estresse térmico por não conseguirem dissipar o excesso de calor.

5.1 Evaporação cutânea

Bovinos expostos a condições termicamente estressantes desencadeiam reações fisiológicas como a vasodilatação periférica, estimulando as glândulas sudoríparas (Godyn et al., 2019). A eficácia do resfriamento evaporativo na superfície da pele pode ser influenciada pela densidade, espessura e comprimento dos pelos, características da epiderme e coloração da pelagem (Gebremedhin et al., 2008; Madhusoodan, et al., 2019). Em ambientes tropicais, a presença de pelos curtos, grossos e assentados ajudam a aumentar a dissipação máxima de calor durante condições de estresse térmico (Da Silva et al., 2003).

Segundo da Silva e Maia (2011), a evaporação cutânea permanece inalterada com valores médios de 48 W.m^{-2} até a temperatura da superfície corporal atingir valores de 31°C . Em estudos sobre o equilíbrio térmico de bovinos da raça Nelore, Costa et al., (2018b) encontraram uma variação de $42,12$ a $85,67 \text{ W.m}^{-2}$ com temperaturas de superfície entre 32°C a 36°C e temperatura do ar entre $20,57$ a $30,86^\circ\text{C}$. Os mesmos autores também relataram que essa variação da perda de calor latente na superfície corporal se deve a correlações positivas com a temperatura do ar ($r = 0,92$), temperatura do pelame ($r = 0,87$) e com a temperatura da pele ($r = 0,87$) o que levou a representar 53% da perda de calor total.

O gado zebu na zona tropical sob a sombra apresentou temperatura de superfície de 36°C , chegando a valores máximos de apenas $64,75 \text{ W.m}^{-2}$ (Costa et al., 2018a) e $85,67 \text{ W.m}^{-2}$

(Costa et al., 2018b) de perda de calor por evaporação cutânea. Os resultados encontrados para evaporação cutânea com bovinos Nelore expostos ao sol ao longo do dia foram bastante interessantes uma vez que mesmo com o fator agravante da radiação solar durante o dia a evaporação cutânea média não ultrapassou 80 W.m^{-2} nos períodos mais quentes (Santos, dados não publicados).

A evaporação cutânea pode variar de acordo com a região do corpo do animal e com a cor do pelo. Estudando a perda de calor latente em vacas leiteiras no ambiente equatorial semiárido, Silva et al., (2012) observaram diferenças significativas na evaporação cutânea das regiões corporais pescoço, flanco e quartos, sendo de 133,3, 116,2 e 98,6, respectivamente. A cor do pelo também apresenta importância significativa para a perda de calor por evaporação cutânea. Em bovinos com pelos de cor preta em ambientes semiáridos são observados valores para temperatura de superfície de $35,49 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e evaporação cutânea de $186,32 \text{ W.m}^{-2}$. Em contrapartida, naqueles de cor branca a temperatura de superfície e evaporação cutânea foram de $35,05 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e $158,24 \text{ W.m}^{-2}$. Essa diferença de temperatura de superfície pode ser explicada pela maior absorvância de pelos pretos (Santos et al., 2017). Registros semelhantes também foram verificados por Silva et al., (2012); para a cor do pelo preto a temperatura da superfície da pele era de $41,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e evaporação cutânea de $117,0 \text{ W.m}^{-2}$ e para pelos de cor branca $37,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e $106,7 \text{ W.m}^{-2}$, respectivamente.

5.2 Evaporação respiratória

A evaporação respiratória é um mecanismo latente de perda de calor que depende diretamente da frequência respiratória (Maia et al., 2005a), uma vez que acontece por meio das vias respiratórias (Spiers et al., 2018), na qual utiliza o calor latente de vaporização da água na tentativa de dissipar energia térmica corporal (Santos et al., 2017).

A ofegação é uma resposta fisiológica de muitos animais ao estresse térmico, pois intensifica a perda de calor por evaporação devido ao aumento na frequência respiratória e diminuição do volume corrente; consequentemente, há aumento na ventilação do trato respiratório (Renaudeau et al., 2012; Collier e Gebremedhin 2015). No ambiente semiárido, vacas leiteiras da raça Holandesa apresentam uma frequência respiratória média de 78 resp.min^{-1} devido as altas temperaturas ambientais ($33,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$) atribuindo uma maior condição de estresse a esses animais que respondem com uma elevação na evaporação respiratória de $44,0 \text{ W.m}^{-2}$ que leva a contribuir com 27,3 % para a perda de calor latente total (Silva et al., 2012). Animais zebuínos em ambiente tropical, protegidos do sol, a frequência respiratória e a perda de calor

por evaporação respiratória não ultrapassou 27 resp.min⁻¹ e 15 W.m⁻², respectivamente (Costa et al., 2018a). A contribuição deste mecanismo de termólise é insignificante para a manutenção do equilíbrio térmico nesse tipo de ambiente (Camerro et al., 2016; Costa et al., 2018a; Costa et al., 2018b).

Em ambiente semiárido, a evaporação respiratória em touros Nelore expostos ao sol, ao longo do dia, representou 40,55 % da perda total de calor latente, com variação de 35 a 45 W.m⁻². Verificou-se a eficiência deste mecanismo em manter o equilíbrio térmico, uma vez que a frequência respiratória não ultrapassou 36 resp.min⁻¹ e a temperatura corporal manteve-se em 38,5 °C. (Santos, dados não publicados).

6. MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos de cuidado e manejo dos animais seguiram as diretrizes do Comitê de Ética no Uso de Animais em Experimentos da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (CEUA-UFERSA).

6.1 Local de estudo e animais

O experimento foi conduzido com dezesseis touros Nelore e avaliados nas condições ambientais de Tibau, RN, Brasil (5°52' Sul, 37°20' Oeste e 37 m acima do nível do mar), uma região equatorial semiárida. As coletas de dados foram realizadas durante quatro dias não consecutivos, iniciando às 7:00 e terminando às 17:00, em intervalos de 1 hora. Em cada dia de coleta, foram analisados quatro animais, que foram mantidos expostos ao sol durante o período diurno. Estes animais tinham uma idade média de três anos e um peso corporal médio de 650 ± 32 kg. A alimentação ocorreu uma vez ao dia e foi baseada em *Cucumis melo* (frutos e parte aérea da planta). A água foi fornecida *ad libitum*.

6.2 Variáveis meteorológicas

A temperatura do ar (TA, °C) umidade relativa do ar, (UR, %) e radiação solar (RS, W.m⁻²) foram monitoradas continuamente, em intervalos regulares de um minuto, através de um termossensor de cobre-constantã conectado a um data logger (modelo CR1000, Campbell Scientific) instalado no local onde os animais foram avaliados. A velocidade do vento (Vv, m/s) foi aferida com um termo-higro-anemômetro digital (modelo THAL 300, Instrutherm).

Para aferir a temperatura do globo (TG, °C) foram utilizados dois globos negros de cobre com 0,15 m de diâmetro, um exposto ao sol e um outro à sombra, medida por meio de um termômetro de haste (modelo ST-9215) inserido no centro dos globos, na mesma altura do tronco dos animais e aproximadamente 1,2 m do solo. A temperatura radiante média (TRM, °C) foi estimada pela equação de Da Silva et al., (2010) e depois utilizada para calcular a carga térmica radiante (CTR, W.m⁻²) de acordo com a equação proposta por Da Silva e Maia (2013).

6.3 Variáveis fisiológicas

A frequência respiratória (FR, resp.min⁻¹) foi aferida observando os movimentos do flanco do animal por um período de um minuto. A temperatura do ar expirado (TEXP, °C) foi mensurada através de um termômetro digital (modelo TH-060, Instrutherm). Para isto, sensor tipo K foi inserido próximo às narinas dos touros (Figura 1) no interior de um dispositivo facial adaptado com um saco de polietileno fixado em um tubo plástico que media 12,5 cm × 10,5 cm (comprimento × diâmetro). A temperatura retal (TR, °C) foi medida usando um termômetro clínico de mercúrio inserido aproximadamente 10 cm no reto dos animais. A temperatura da superfície corporal (TS, °C) foi medida com um termômetro infravermelho de precisão (modelo 576, Fluke Corporation) em três regiões diferentes do corpo (flanco, quartos traseiros e pescoço), obtendo-se a média aritmética.



Figura 3 - Sensor tipo K conectado ao dispositivo facial (A) desenvolvido para mensuração da temperatura do ar expirado de bovinos.

6.4 Mecanismos sensíveis

Baseado na lei de Stefan-Boltzmann, a troca de calor por radiação de ondas longas (HR, W.m⁻²) entre a superfície corporal dos animais e o ambiente foi calculada pela equação (Da Silva e Maia, 2013):

$$H_R = \varepsilon_s \sigma (T_s^4 - T_{RM}^4), \text{ W.m}^{-2} \quad (1)$$

onde $\sigma = 5,67051 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ é a constante de Stefan-Boltzmann, a TRM é a temperatura radiante média (°C), a TS é a temperatura da superfície corporal dos touros (°C) e ε_s é a emissividade do tecidos biológicos (0,98).

Com base na Lei do resfriamento de Newton, a troca de calor por convecção (HC, W.m⁻²) a partir da superfície corporal para o ar foi determinada pela equação (Da Silva e Maia, 2013):

$$H_C = \rho c_p (T_s - T_A) r_H^{-1}, \text{ W.m}^{-2} \quad (2)$$

onde, ρ é a densidade do ar (g.m⁻³), c_p é o calor específico do ar (J.g⁻¹.°C⁻¹), TS é a temperatura da superfície corporal (°C), TA é a temperatura do ar (°C) e r_H é a resistência da camada limite à transferência de calor por convecção.

$$r_H = \rho c_p d (kNu)^{-1} \quad (3)$$

onde d é a dimensão da região do corpo (m), k é a condutividade térmica do ar à temperatura TA (W.m⁻² °C⁻¹) e Nu é número de Nusselt.

6.5 Mecanismos evaporativos

Uma cápsula ventilada de 7 cm de diâmetro acoplada a um analisador de CO/H₂O (Modelo Li-7000, LI-COR, Nebraska, EUA) foi usada para determinar a evaporação cutânea (EC, W.m⁻²). Este analisador foi conectado a um computador que fornecia medições de pressão atmosférica (PATM; kPa), pressão parcial de vapor do ar (PAIR; kPa) e pressão parcial de vapor do ar que passava pela cápsula (PCAP; kPa). Para padronizar as estimativas de perda de água através da pele, o fluxo de ar da cápsula ventilada foi mantido constante em 1,8 L min⁻¹, tornando o TS dentro e fora da cápsula igual (Maia et al., 2005b). Três regiões distintas do

corpo (quartos traseiros, flanco e pescoço) foram avaliadas. Os valores para EC foram obtidos através da equação:

$$E_C = A^{-1} \lambda \Phi (\Psi_S - \Psi_A) \quad (4)$$

onde A^{-1} representa a área superficial cutânea sob a cápsula (m^2), λ é o calor latente da vaporização da água ($J\ g^{-1}$), Φ é a taxa de fluxo de ar através da cápsula (m^3s^{-1}) e Ψ_S e Ψ_A são a umidade absoluta do ar na saída da cápsula e na atmosfera, respectivamente ($g\ m^{-3}$) (Maia et al., 2005a).

A evaporação respiratória (ER , $W.m^{-2}$) foi estimada pela equação proposta por Maia et al., (2005a):

$$E_R = \lambda \dot{m} \rho^{-1} (\Psi_{EXP} - \Psi_A) \quad (5)$$

onde ρ é a densidade do ar ($g.m^{-3}$), λ é o calor latente de vaporização ($J\ g^{-1}$), $\dot{m}$ é taxa de fluxo de massa ($kg\ s^{-1}$), Ψ_{EXP} é a umidade absoluta do ar expirado ($g\ m^{-3}$), Ψ_A é a umidade absoluta da atmosfera ($g\ m^{-3}$).

6.6 Análise Estatística

As respostas fisiológicas e biofísicas foram analisadas por meio de uma análise de variância (ANOVA) de medidas repetidas usando o procedimento para modelos mistos (PROC MIXED) do Statistical Analysis System (SAS version 8.0, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), onde animal foi inserido no modelo como efeito aleatório e a hora do dia como efeito fixo. O teste de Tukey de comparações múltiplas foi usado para verificar as diferenças entre as médias ($P < 0,05$) após observarmos diferenças significativas por meio do teste F da ANOVA ($P < 0,05$).

7. RESULTADOS

7.1 Variáveis ambientais

Os valores referentes as condições meteorológicas durante o estudo são mostradas na Figura 1. A TA variou de 28,5 a 32,5 °C no período diurno, onde os maiores valores foram encontrados entre 10:00 e 13:00, sendo baixa no início do dia e no final da tarde. A Vv variou de 1(m/s) a 5 (m/s) e a UR de 52 % a 68 % durante o dia. No começo da manhã e ao fim da tarde, a UR estava elevada e seus menores valores foram identificados entre 10:00 e 13:00 horas quando a TA estava alta. A TRM no período diurno também foi elevada durante o estudo, variando de 58 °C a 71 °C, apresentando valores elevados entre 10:00 e 13:00 horas, onde a RS também acompanhou o mesmo comportamento devido à intensa radiação solar direta na região geográfica do estudo, com uma variação de 21 a 891 W.m⁻².

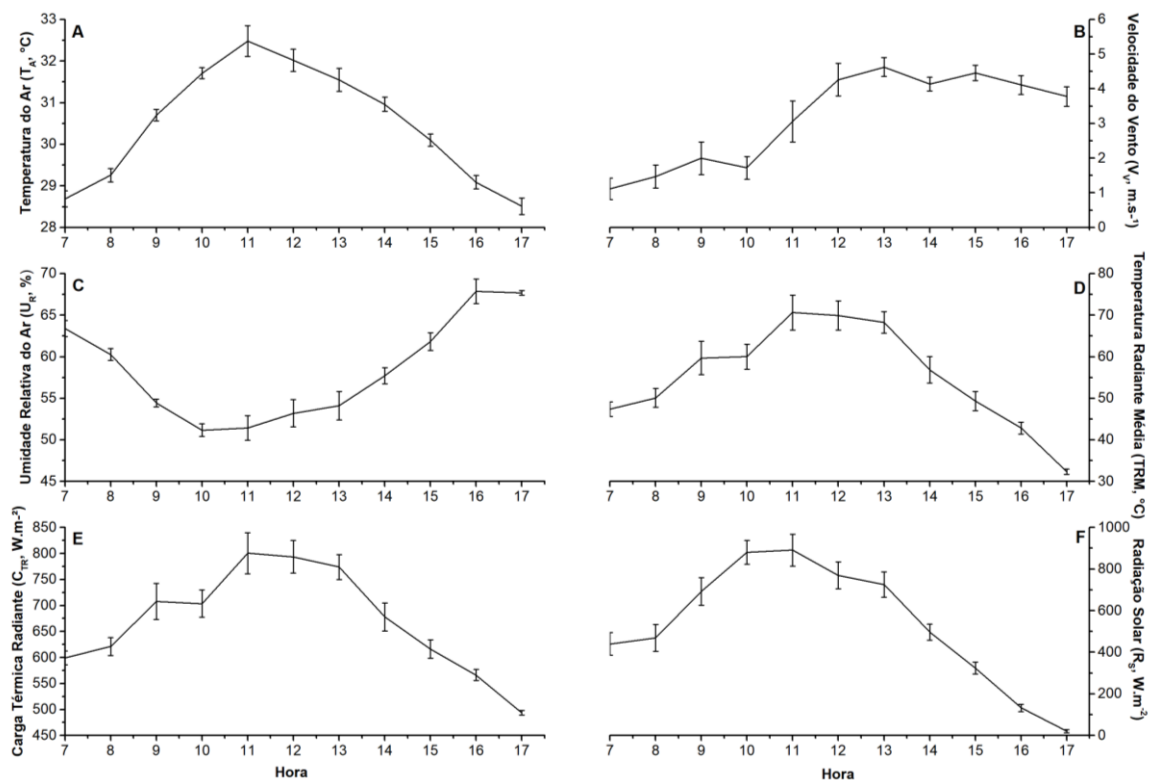


Figura 4 - Variáveis ambientais durante o período diurno, temperatura do ar (A), velocidade do vento (B), umidade relativa (C), temperatura radiante média (D), carga térmica radiante (E) e radiação Solar direta (F).

7.2 Respostas fisiológicas

A Figura 4 mostra os valores da TR dos touros Nelore, onde é possível observar que não houve variação significativa durante o período diurno ($P > 0,05$), permanecendo com valores próximos a 38,5 °C. Apesar de não haver diferença significativa entre os horários do dia, observa-se que no horário de 7:00 às 8:00 houve uma amplitude de aproximadamente 2,5 °C na TR entre os animais observados (37,6 a 39,8 °C). Essa amplitude foi decrescendo durante o período diurno.

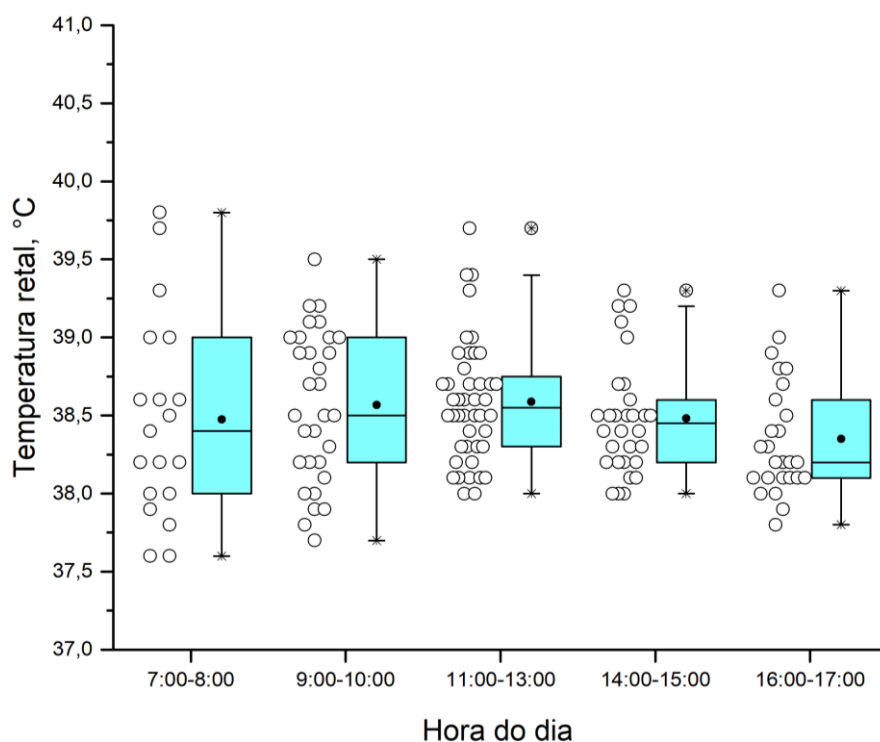


Figura 5 - Temperatura retal, (°C) de touros Nelore durante o período diurno. (●) Indicam as médias em cada horário. (○) indicam todos os dados observados. (⊙) indicam os outliers.

No início da manhã, observa-se uma frequência respiratória média (FR, resp.min⁻¹) de 29,82 resp.min⁻¹ sendo crescente até 11:00 -13:00 (Figura 6), o qual foi o período do dia termicamente mais estressante para os animais. Nesse mesmo horário, a média estava em 36 resp.min⁻¹ e com variação de 25 a 56 resp.min⁻¹. Houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre os horários do dia. Houve diferença significativa para a TS entre os horários do dia ($P < 0,05$). A TS acompanhou a variação observada na TA, com média 35,5 °C no início da manhã e maior valor médio (37,8 °C) às 11:00-13:00 (Figura 7).

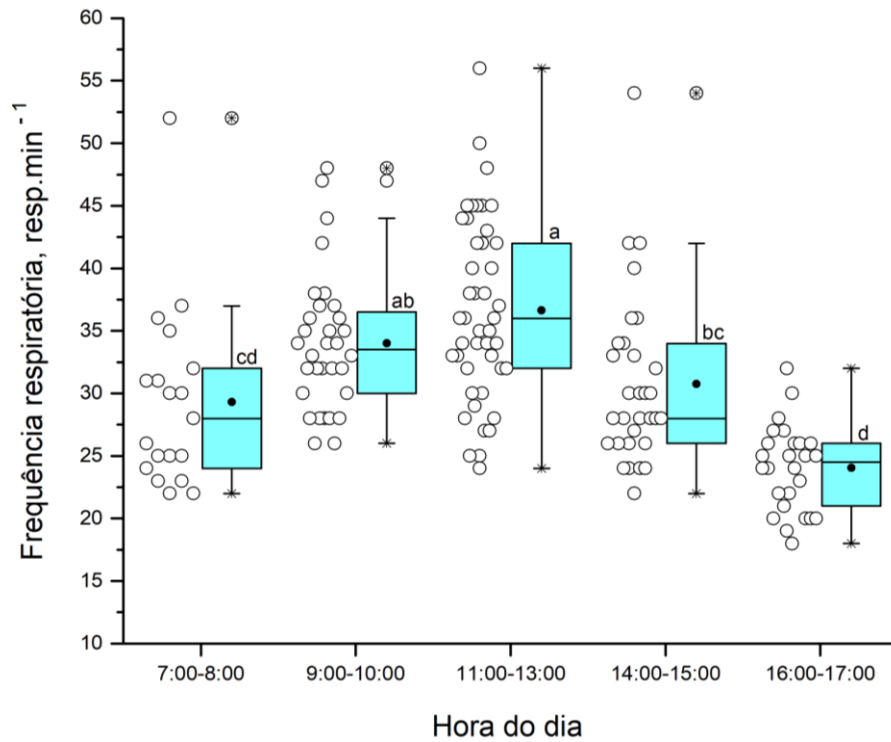


Figura 6 - Frequência respiratória, (resp.min⁻¹) de touros Nelore durante o período diurno. (●) Indicam as médias em cada horário. (○) indicam todos os dados observados. (⊙) indicam os outliers. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as horas (Teste de Tukey; $P < 0,05$).

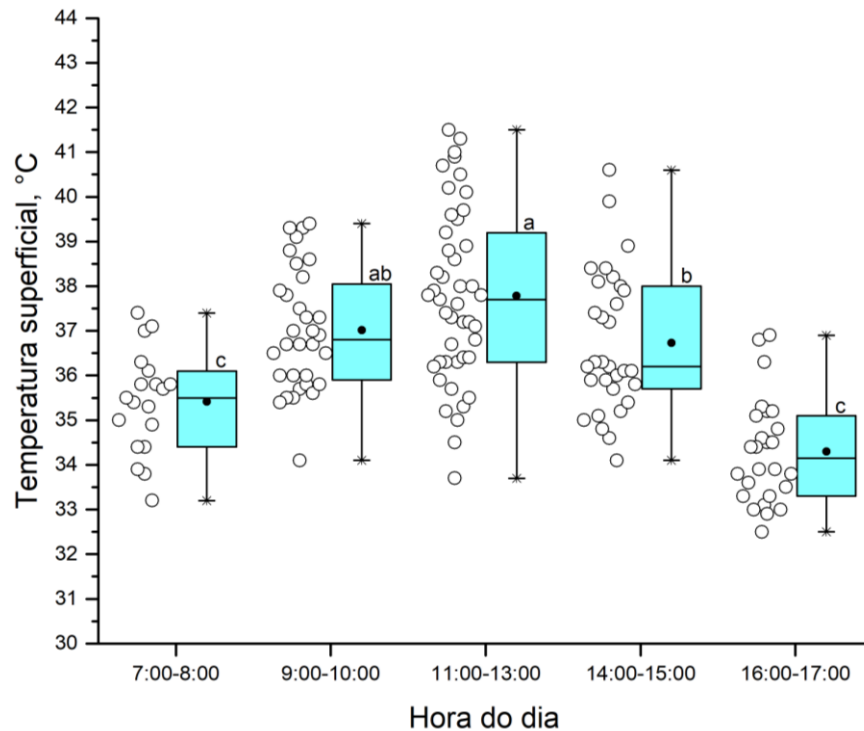


Figura 7 - Temperatura Superficial, (°C) de touros Nelore durante o período diurno. (●) Indicam as médias em cada horário. (○) indicam todos os dados observados. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as horas (Teste de Tukey; $P < 0,05$).

7.3 Trocas de calor sensível

O mecanismo de trocas térmicas por HR (Figura 6) se comportou como uma via de ganho de calor do ambiente na maioria dos horários, sendo mais expressiva entre 11:00 e 13:00 (-250 W.m^{-2}) e diferindo ($P < 0,05$) dos demais horários que também se comportaram como uma via de ganho de calor, exceto no final do dia (16:00-17:00). Diferentemente da HR, a HC se comportou como um mecanismo de perda de calor dos animais para o ambiente durante todo o dia (Figura 9), a qual foi baixa durante a manhã, com valores médios de 36 e 40 W.m^{-2} nos horários de 7:00-8:00 e 9:00-10:00, respectivamente, os quais não diferiram entre si ($P > 0,05$), mas diferiram dos demais horários ($P < 0,05$). Às 11:00-13:00, foi observada uma variação elevada para HC (8-120 W.m^{-2}) a qual não foi observada nas demais horas do dia. Às 14:00-15:00, a HC atingiu o maior valor médio (78 W.m^{-2}), o qual não diferiu significativamente de 11:00-13:00 e 16:00-17:00.

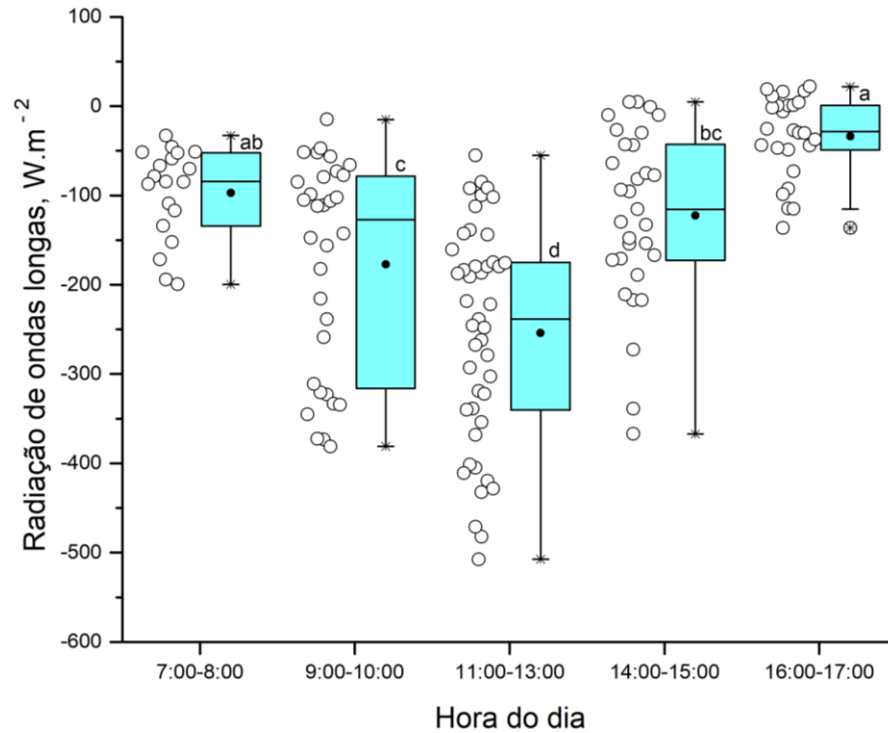


Figura 8 - Troca de calor por radiação de ondas longas (W.m^{-2}) de touros Nelore durante o período diurno. (●) Indicam as médias em cada horário. (○) indicam todos os dados observados. (⊗) indicam os outliers. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as horas (Teste de Tukey; $P < 0,05$).

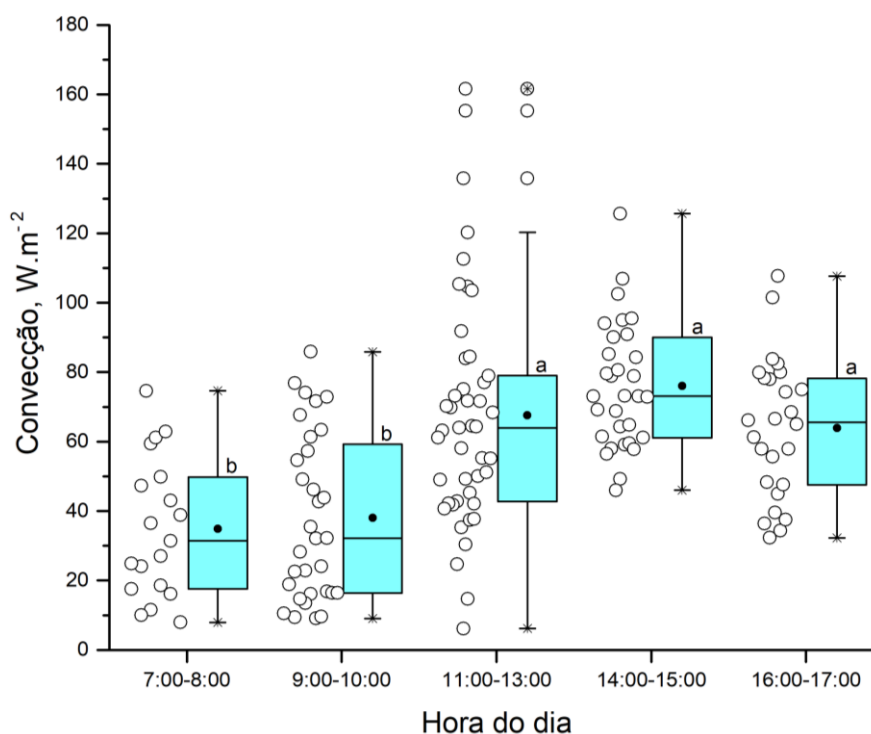


Figura 9 - Troca de calor sensível por convecção (W.m^{-2}) de touros Nelore durante o período diurno. (●) Indicam as médias em cada horário. (○) indicam todos os dados observados. (○) indicam os outliers. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as horas (Teste de Tukey; $P < 0,05$).

7.4 Perda de calor latente

Foi observada uma variação diária significativa para EC e ER (Figuras 10 e 11; $P < 0,05$), onde os maiores valores médios foram observados às 11:00-13:00 (67 W.m^{-2} e 42 W.m^{-2} , respectivamente). A EC e a ER foram responsáveis, respectivamente, por 59,45% e 40,55% da perda total de calor evaporativo de touros Nelore expostos ao sol.

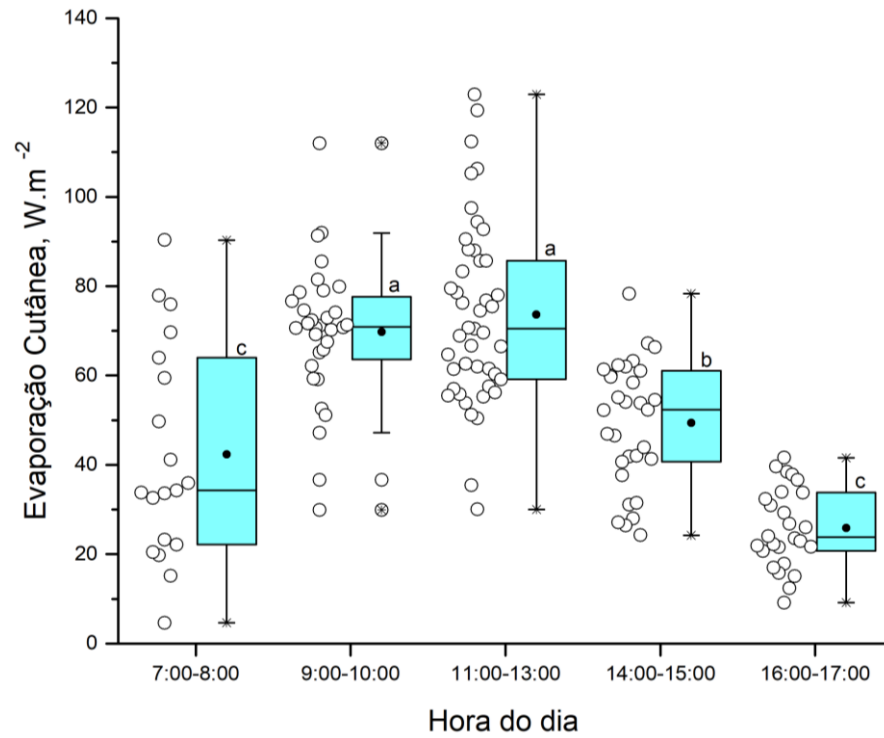


Figura 10 -Perda de calor latente por Evaporação Cutânea (W.m⁻²) de touros Nelore durante o período diurno. (●) Indicam as médias em cada horário. (○) indicam todos os dados observados. (○) indicam os outliers. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as horas (Teste de Tukey; P < 0,05).

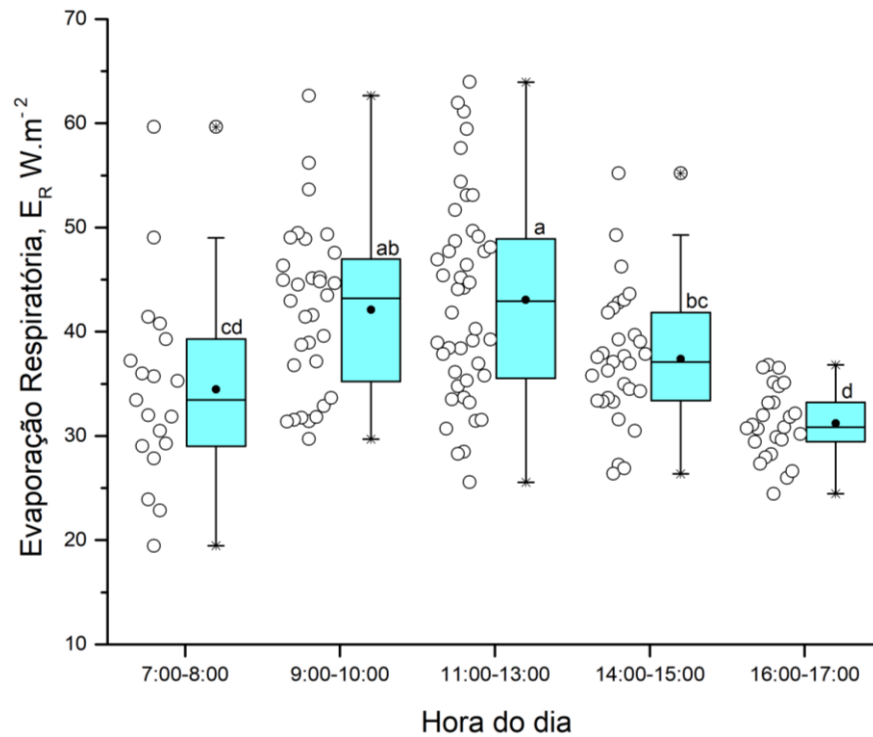


Figura 11 - Perda de calor latente por Evaporação Respiratória ($W.m^{-2}$) de touros Nelore durante o período diurno. (●) Indicam as médias em cada horário. (○) indicam todos os dados observados. (○) indicam os outliers. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as horas (Teste de Tukey; $P < 0,05$).

8 DISCUSSÃO

As variações climáticas previstas para os próximos anos estão relacionadas a mudanças na precipitação e temperatura, ocasionando um aumento na temperatura da superfície do planeta entre 0,4 °C a 2,6 °C até o ano de 2065 (IPCC, 2014; Gianinni et al., 2017). Essas variações ambientais podem ocasionar efeitos negativos na produção, reprodução e saúde dos bovinos, levando à queda na produtividade dos sistemas de produção de carne e tornando-se preocupante para a produção mundial de alimentos (Das et al., 2016; Rojas-Downing et al., 2017; Samand et al., 2020). Para um bovino adulto da espécie *Bos indicus* manter sua taxa metabólica mínima, a temperatura ambiente deve estar entre 10 °C e 27 °C (Hafez, 1973; Mount, 1979; Curtis, 1983). No entanto, a temperatura do ar durante o período diurno nas condições do presente estudo estava fora da faixa de conforto térmico para bovinos adultos da espécie *Bos indicus* preconizadas por Hafez (1973), Mount (1979) e Curtis (1983). Esse desafio térmico levou os bovinos da raça Nelore a ativar os mecanismos fisiológicos no intuito de dissipar o excesso de calor corporal.

Segundo Collier e Gebremedhin (2015), em condições ambientais de elevada temperatura do ar e altos níveis de radiação solar direta sobre os animais, os mecanismos de perda de calor sensível, ou seja, radiação, convecção e condução, podem se tornar vias de ganho de calor, pois estes mecanismos dependem de um gradiente de temperatura entre o animal e o ambiente. No presente estudo, nos horários mais quentes do dia, entre 11:00-13:00, a TS e a TRM registradas foram de 38 °C e 70 °C, respectivamente. Esse gradiente térmico entre a TS e a TRM não só impossibilitou a perda de calor sensível por radiação de ondas longas, como tornou este mecanismo uma via de ganho de calor. Observamos no presente estudo que em todos os horários do dia houve ganho de calor por radiação, com uma média de -250 W.m⁻² entre 11:00-13:00. No entanto, houve uma dispersão entre dados para cada horário em relação à radiação de ondas longas, onde observa-se que haviam animais que ganhavam mais calor por radiação do que outros dentro do mesmo horário durante o período diurno. Essa variação pode ser explicada pela presença de nuvens durante as coletas, uma vez que a presença de nuvens diminui a quantidade de radiação solar direta que chega à superfície corporal dos animais (Silva e Maia, 2013). Em estudos de Costa et al., (2018b) com bovinos da raça Nelore em ambiente protegido da radiação solar direta, a troca de calor por radiação de ondas longas apresentou valores positivos ao longo da avaliação circadiana com média de 40 W.m⁻² entre 10:00 e 14:00 horas, onde essa perda de calor sensível foi favorecida possivelmente pelo gradiente de

temperatura entre a TS e TRM em que a TS estava mais elevada em relação a TRM dentro da instalação.

Apesar do ganho de calor excessivo por HR e o aumento da TA durante o período diurno a TR não variou, apresentando uma média de 38,5 °C. Em trabalhos de Lima et al., (2020) com bovinos da raça Nelore expostos ao sol no turno da manhã, a TR média dos animais foi de 39,2 °C. Costa et al., (2018a) estudando o balanço térmico de bovinos da raça Nelore protegidos do sol verificou valores de T_R média variando de 38,6 °C a 38,9 °C durante o período diurno. Trabalhando com animais da raça Guzerá em ambiente protegido da radiação solar, Camerro et al (2016) observou uma TR média variando de 38,9 °C a 39,5 °C durante o período diurno. No presente estudo, ao observar todos os dados em cada horário durante o período diurno verifica-se uma amplitude de ~2,5 °C na TR entre os animais, onde essa variação foi reduzindo e ficando próximo a média ao final do dia. Essa dispersão da TR de ~1 °C a mais do que média pode caracterizar animais estressados pelo calor já nas primeiras horas do dia quando a TR estava em 28,5 °C e TR 400 W.m⁻², entretanto, à medida que TA e a RS aumentaram durante o período diurno a dispersão observada para TR foi diminuindo, o que explica uma capacidade resiliente dos animais da raça Nelore a esse tipo de ambiente.

Na condição ambiental do presente estudo, os bovinos da raça Nelore conseguiram manter a TR dentro de limites estreitos, verificando que os mecanismos fisiológicos e biofísicos foram eficientes para que os animais pudessem termorregular com o ambiente. A diferença de temperatura entre a TS e a TA favoreceu a troca de calor sensível por HC, onde a TS permaneceu mais elevada em relação a TA durante o período diurno. Apesar do gradiente entre a TS e a TA ter diminuído no momento mais crítico do dia, a troca de calor sensível por HC (Figura 9) foi potencializada pelo Vv (Figura 2B) favorecendo a dissipação do excesso de calor sem um gasto energético dos touros Nelore expostos ao desafio da RS. Nos estudos de Costa et al., (2018b) a perda de calor por HC também foi observada, apresentando valores entre 20 a 40 W.m⁻², onde os autores relatam que à medida que o gradiente entre TS e TA diminuía a H_C tornava-se menos eficiente.

No presente estudo a HC de forma isolada não foi suficiente para os animais perderem todo o excesso de calor corporal oriundo da exposição à radiação solar direta. Assim, os animais tiveram que utilizar mecanismos evaporativos para dissipar este excedente térmico. Mesmo com um aumento da FR (Figura 6), a variação observada foi de 7 resp.min⁻¹, o que não ocasionou efeitos deletérios na TR de animais da espécie *Bos indicus*, uma vez que durante o período diurno a TR média (Figura 5) permaneceu dentro da normalidade, levando a compreender a alta capacidade termorregulatória dos touros Nelore quando submetidos a

condições ambientais do semiárido Apesar da variação média da FR durante o período diurno estar dentro da normalidade para bovinos zebu adulto é importante destacar que dentro do mesmo rebanho há animais que não elevaram muito a FR e TR em relação à média, o que sugere uma maior tolerância de alguns animais aos desafios térmicos.

A exposição direta à radiação solar durante o dia desafia os animais a se manterem em equilíbrio térmico com o ambiente e, apesar da perda de calor por convecção colaborar no processo de dissipação do excesso de calor oriundo da radiação de ondas longas, outros mecanismos termorregulatórios como a EC e ER foram ativados para favorecer os bovinos Nelore a tolerar ambientes com intensa radiação solar. A EC é influenciada pela TS e pela condição atmosférica em receber vapor de água. Por não depender de um gradiente de temperatura entre TS e TA, a EC é o principal meio de perda de calor em bovinos Nelore em ambientes com alta temperatura e protegidos da radiação solar (Costa et al., 2018b). Em ambientes com altas temperaturas ambientais, a EC é responsável por 85 % da perda de calor total (Maia et al., 2005b). Segundo Silva e Maia (2011), a EC permanece inalterada até a TS atingir valores de 31°C. No presente estudo, todos os animais já apresentavam uma TS acima de 33 °C, sendo necessário perder calor por EC em todos os horários do dia apresentando os maiores valores entre 9:00 e 13:00, pois nesse horário os animais já estavam recebendo alta quantidade de RS (21 a 891 W.m⁻²) e a TS e a TA estavam elevadas.

A capacidade dos animais *Bos indicus* manterem o equilíbrio térmico pode estar atrelada a sua eficiência na perda de calor latente sem causar efeitos deletérios a sua fisiologia. Essa característica pode estar relacionada à morfologia e quantidade de glândulas sudoríparas nos animais zebuínos, o que potencializa a atividade de sudorese e, conseqüentemente, a perda de calor por EC (Nascimento et al., 2019). Pereira et al., (2014) observaram que em animais *Bos taurus* a TR e FR se relacionavam positivamente com taxa de sudação, pois à medida que a TR variou de 38,0 °C a 40,0 °C e a FR de 25 a 150 mov/min, houve um aumento na taxa de sudação de 50 para 210 g/m².h na tentativa de dissipar o excesso de calor corporal. Jian et al., (2015) observaram que os animais *Bos indicus* apresentaram maior eficiência na taxa de sudação (595 g/m².h) e mantiveram a FR dentro da normalidade, o que ocorreu de forma contrária em relação aos taurinos. Assim, podemos observar que as características das glândulas sudoríparas e conseqüentemente maior capacidade de sudação dos animais *Bos indicus* proporcionam a esses animais uma maior eficiência na perda de calor por EC, tornando-os mais tolerantes ao estresse térmico em comparação com animais *Bos taurus*.

A ER depende da quantidade e do fluxo de ar no sistema respiratório, onde quanto maior a FR maior será o fluxo do ar, levando os animais a perderem mais calor por este mecanismo.

A ofegação é uma resposta fisiológica dos animais ao estresse térmico para perder calor por evaporação no sistema respiratório, observada pelo aumento da FR, diminuição do volume corrente e aumentando a ventilação no trato respiratório (Renaudeau et al., 2012; Collier and Gebremedhin 2015). Zebuínos em ambientes protegidos da radiação solar parecem não ativar de forma significativa a ER (Camerro et al., 2016; Costa et al., 2018a; Costa et al., 2018b). Em ambientes tropicais, a ER de vacas Holandesas pode chegar a $56,51 \text{ W.m}^{-2}$ quando a TA está em 35°C e a FR em 80 resp.min^{-1} , tornando-se uma importante via para perda de calor (Maia et al., 2005b). A contribuição do sistema respiratório para a perda de calor latente total em um ambiente equatorial semiárido pode chegar a 27,3 % (Silva et al., 2012). No entanto, a relevância da ER para os touros Nelore expostos ao sol é observada nos momentos mais críticos do dia, onde a perda de calor por este mecanismo é em média 42 W.m^{-2} , o que representa 40,55 % no total de perda de calor latente durante o dia. A permanência da F_R e T_R dentro da normalidade comprovam a eficiência dos mecanismos de perda de calor sensível (HC) e latentes (EC e ER) em ambiente totalmente desprovido de sombra, minimizando os riscos de hiperventilação alveolar e, conseqüentemente, alcalose respiratória acentuada, como resultado da elevação da FR (Renaudeau et al., 2012).

Os mecanismos fisiológicos e biofísicos foram fundamentais na dissipação do excesso de calor ganho através da exposição a RS em praticamente todos os horários do dia. As respostas fisiológicas foram mantidas dentro dos limites da homeotermia. No entanto, foi observado uma variação entre essas respostas do durante o período diurno. Ao avaliar todos os 16 touros Nelore, alguns animais apresentaram de T_R , F_R e T_S inferiores em relação à média, sugerindo que há animais mais tolerantes a desafios térmicos em relação a outros animais da mesma raça e rebanho.

9 CONCLUSÕES

Touros da raça Nelore mantêm a temperatura corporal dentro da homeotermia mesmo quando expostos a alta radiação solar. Isto evidencia que esses animais possuem atributos morfofisiológicos que tornam os mecanismos biofísicos de termólise mais eficiente com ênfase na HC, EC e ER nos horários do dia de maior desafio térmico. No entanto, há uma variação individual das respostas avaliadas, levando a compreender que existem animais mais eficientes na perda de calor dentro de um mesmo grupo avaliado quando são expostos a ambientes termicamente estressantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELNOUR, S. A. A., et al. **Stress biomarkers and proteomics alteration to thermal stress in ruminants: A review.** Journal Thermal Biology, v.79, p.120–134. january. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES – ABIEC (2019). **Exportações de carnes bovinas encerram 2019 com recordes em volumes e faturamento.**

BABU L. D. S., et al. **Monitoring foot surface temperature using infrared thermal imaging for assessment of hoof health status in cattle: A review.** Journal of Thermal Biology, v.78, p.10-21. december 2018.

BAENA, M. M. et al. **Heat tolerance responses in a Bos taurus cattle herd raised in a Brazilian climate,** Journal of Thermal Biology, v.81, p.162-169. 2019.

BATISTA, J. N. et al. **Termorregulação em ruminantes.** Agropecuária Científica do Semiárido, v.11, n. 2, p. 39-46, april. 2015.

BAUMGARD, L.H., RHOAD Jr, R.P. **Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics.** Annual Review of Animal Bioscience, v.1, p. 311-337, january 2013.

BERMAN, A. **Inter-animal radiation as potential heat stressor in lying animals.** International Journal of Biometeorol, v.58, p. 1683-1691, august. 2014.

BERMAN, A. **An overview of heat stress relief with global warming in perspective.** International Journal of Biometeorology, v.63, p. 493-498, february. 2019.

BETTAIEB A., AVERILL-BATES, D. A. **Thermotolerance induced at a mild temperature of 40 °C alleviates heat shock-induced ER stress and apoptosis in HeLa cells.** *Biochimica et Biophysica Acta*, v.1853, p.52-62, january. 2015.

CAMERRO, L. Z. et al. **Thermal equilibrium responses in Guzarat cattle raised under tropical conditions.** Journal of Thermal Biology. 60:213-221, july 2016.

CARDOSO, C. C. et al. **Physiological and thermographic response to heat stress in zebu cattle,** *Livestock Science*, v.18, p.83-92, december. 2015.

COLLIER, R. J. GEBREMEDHIN, K.G. **Thermal Biology of Domestic Animals. Annual Review of Animal Biosciences**, v.3, p.10.1–10.20. october. 2015.

COLYN, J. J. **Relationship of Radiated Heat Loss Measured by Infrared Thermography to Residual Feed Intake in Beef Heifers.** (Master of Science in Animal Science) - University of Alberta, 2013.

COSTA, A. N. L. et al. **Rectal temperatures, respiratory rates, production, and reproduction performances of crossbred Girolando cows under heat stress in northeastern Brazil.** *International Journal of Biometeorology*, v.59, p.1647–1653, february. 2015.

COSTA, C. C. M. et al. **Thermal balance of Nellore cattle.** *International Journal of Biometeorology*, v.62, p.723–731, april. 2018a.

COSTA, C. C. M. et al. **Thermal equilibrium of Nellore cattle in tropical conditions: an investigation of circadian pattern.** *Journal of Thermal Biology*, v.74, p.317-324, april. 2018b.

CHURCH, J.S. et al. **Influence of environmental factors on infrared eye temperature measurements in cattle.** *Research in Veterinary Science*, v.94, p.220-226, february. 2014.

CURTIS, S. E. **Environmental manegement in animal agriculture.** AMES: The Iowa State University, 1983. p.409.

DAS, R. et al. **Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review.** *Veterinary World*, v.9, p.260-268, March. 2016.

EHRLEMARK, A. G.; SALLVIK, K. G. **A model of heat and moisture dissipation from cattle based on thermal properties.** *Transactions of the ASAE*, v.39, p.187-194.1996.

GAUGHAN, J. B. et al. **Effect of shade on body temperature and performance of feedlot steers.** *Journal of Animal Science*, v.88, p.4056–4067, december. 2010b

GEBREMEDHIN K. G. et a. **Sweating rates of dairy cows and beef heifers in hot conditions.** *Transactions of the ASABE*, v.51, p.2167-2178, november. 2008.

GIANNINI, T. C. et al. **Projected climate change threatens pollinators and crop production in Brazil.** PLoS One, v.12, august. 2017.

GODYŃ, D. HERBUT, P. ANGRECKA, S. **Measurements of peripheral and deep body temperature in cattle – A review.** Journal of Thermal Biology, v. 79, p.42-49, january. 2019.

HAFEZ, E. S. E. **Adaptacion de los animales domésticos.** Barcelona: Labor, 1973. p.563.

HENRY, B.K. ECKARD, R. J. BEAUCHEMIN, K. A. (2018). **Review: Adaptation of ruminant livestock production systems to climate changes.** Animal, v.12, p.445–456, august. 2018

HERBUT, P. ANGRECKA, S. NAWALANY, G. **Influence of wind on air movement in a free stall barn during the summer period.** Annals of Animal Science, v.13, p.109–119, november. 2013

HERBUT, P., ANGRECKA, P., GODYŃ, D. **Effect of the duration of high air temperature on cow's milking performance in moderate climate conditions.** Annals of Animal Science, v.18, p.195–207, january. 2018.

IPCC. **Climate Change (2014)** Synthesis report. In Core Writing Team, Pachauri RK and Meyer LA (eds), Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

JIAN, W., KE, Y., CHENG, L. **Physiological Responses and Lactation to Cutaneous Evaporative Heat Loss in *Bos indicus*, *Bos taurus*, and Their Crossbreds.** Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, v.28. p.1558-1564, november. 2015.

JIAN, W. et al. **Differences of skin morphology in *Bos indicus*, *Bos taurus*, and their crossbreds.** International Journal of Biometeorology, v.58, p.1087-1094, july. 2014.

KAMAL, R. et al. **Behavioural, biochemical and hormonal responses of heat-stressed crossbred calves to different shade materials.** Journal of Applied Animal Research. v.44, p.347-354, august. 2016.

KAMAL, R. et al. **Heat stress and effect of shade materials on hormonal and behavior response of dairy cattle: a review.** *Tropical Animal Health and Production*, v. 50, p.701-706, february. 2018

KATYATIYA, C.L.F., BRADLEY, G., MUCHENJE, V. **Thermotolerance, health profile and cellular expression of HSP90AB1 in Nguni and Boran cows raised on natural pastures under tropical conditions.** *Journal of Thermal Biology*, v.69, p.85–94, October. 2017

LIMA, S. B. G. P. N. P. et al. **Effect of high temperature on physiological parameters of nelore (*Bos taurus indicus*) and caracu (*Bos taurus taurus*) cattle breeds.** *Tropical Animal Health and Production*, v.52, p.2233-2241, march. 2020

MADHUSOODAN, A. P. et al. **Resilient capacity of cattle to environmental challenges – An updated review.** *Journal of Animal Behaviour Biometeorology*, v.7, p.104-118, april. 2019.

MAIA, A. S. C. DA SILVA, R. G. BATTISTON LOUREIRO, C. M. **Sensible and latent heat loss from the body surface of Holstein cows in a tropical environment.** *International Journal of Biometeorology*, v.50, p.17–22, april. 2005a.

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. p.332–336, may. 2005b.

McMANUS, C. et al. **Use of multivariate analyses for determining heat tolerance in Brazilian cattle.** *Tropical Animal Health Production*, v.43, p.623-630, decemer. 2011.

MENEGASSI, S. R. O. et al. **Effects of ambient air temperature, humidity, and wind speed on seminal traits in Braford and Nellore bulls at the Brazilian Pantanal.** *International Journal of Biometeorology*, v.60, p.1787–1794, april. 2016.

MONTANHOLI, Y. R. et al. **On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls.** *Livestock Science*, v.125, p.22–30, september. 2009.

MOUNT, L. E. **Adaptation to Thermal Environment: Man and His Productive Animals.** Baltimore: University Park Press. 1979.

NARDONE, A. et al. **Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems.** *Livestock Science*, v.130, p. 57-69, may. 2010.

NASCIMENTO, C. C. N. et al. **Can *Bos indicus* cattle breeds be discriminated by differences in the changes of their sweat gland traits across summer and winter seasons?** *Journal of Thermal Biology*, v.86, p.102443, december. 2019.

OLIVEIRA, S. E. O. et al. **Short-wave solar radiation level willingly tolerated by lactating Holstein cows in an equatorial semi-arid environment.** *Tropical Animal Health and Production*, v.46, p.1413–1417, august. 2014.

OLIVEIRA, S. E. O. et al. **Effects of shade location and protection from direct solar radiation on the behavior of Holstein cows.** *International Journal of Biometeorology*, v.63, p.1465–1474, june. 2019.

PEREIRA, A. M. F. et al. **Evaporative heat loss in *Bos taurus*: Do different cattle breeds cope with heat stress in the same way?** *Journal of Thermal Biology*, 45. p.87-95, october. 2014.

RASHAMOL, V. P. et al. **Physiological adaptability of livestock to heat stress: an updated review.** *Journal of Animal Behaviour Biometeorology*, v.6, p.62-71, may. 2018.

RATNAKARAN, A. P. et al. **Behavioural responses to livestock adaptation to heat stress challenges.** *Asian Journal of Animal Science*, v.11, p.1–13, december. 2017.

RENAUDEAU, D. et al. **Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production.** *Animal*, v.6, p.707–728, may. 2012.

ROMANELLO, N. et al. **Thermoregulatory responses and reproductive traits in composite beef bulls raised in a tropical climate.** *International Journal of Biometeorology*, v.62, p.1575–1586, may. 2018.

ROJAS-DOWNING, M. M. et al. **Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation.** *Climate Risk Management*, 16. p: 145-163. 2017.

SAILO, L. et al. **Physiological Response to Thermal Stress in Sahiwal and Karan Fries Cows.** *International Journal of Livestock Research*, v.7, p.275-283, may. 2017.

SAMMAD, A. et al. **Nutritional Physiology and Biochemistry of Dairy Cattle under the Influence of Heat Stress: Consequences and Opportunities.** *Animals*, v.10, p.793, may. 2020.

SANTOS, M. M. et al. **Differences between times of day for the basic physiological traits of Nellore bulls exposed to solar radiation.** *Biological Rhythm Research*, march. 2019.

SANTOS, S. G. C. G. et al. **The use of simple physiological and environmental measures to estimate the latent heat transfer in crossbred Holstein cows.** *International Journal of Biometeorology*, v.61, p.217-225, july. 2017.

SAS (1999) User's guide, version 8. SAS Institute, Cary

SCHUTZ, K. E. et al. **The amount of shade influences the behaviour and physiology of dairy cattle.** *Journal of Dairy Science*, v.93, p.125–133, january. 2010.

SEJIAN, V. et al. **Review: Adaptation of animals to heat stress.** *Animal*, v. 12, p.431-444, august. 2018.

SHARMA, R. et al. **Molecular characterization, body parameters and management practices of Purnea cattle.** *Indian Journal of Animal Science* 83:536–541. 2013.

SILVA, R. G. **Introdução à bioclimatologia animal.** São Paulo: Nobel, 2000, p.286.

SILVA, R. G. et al. **Radiative properties of the skin and haircoat of cattle and other animals.** *American Society of Agricultural Engineers*, v.46, p.913-918, february. 2003.

SILVA, R. G. **Biofísica ambiental: Os animais e seu ambiente.** Funep, Jaboticabal, São Paulo. Ed 1. 2008.

SILVA, R. G., GUILHERMINO, M. M., MORAIS, D. A. E. F. **Thermal radiation absorbed by dairy cows in pasture.** *International Journal Biometeorology*, v.54, p.5–11, june. 2010.

SILVA, R. G. MAIA, A. S. C. **Evaporative cooling and cutaneous surface temperature of Holstein cows in tropical conditions.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.40, p.1143-1147, may. 2011.

SILVA, R. G. et al. **Latent heat loss of dairy cows in an equatorial semi-arid environment.** International Journal of Biometeorology, v.56, p.927–932, october. 2012.

SILVA, R. G, MAIA, A. S. C. **Principles of animal biometeorology.** Springer, New York Ed. 1. 2013.

SPIERS, D. E et al. **Strategic application of convective cooling to maximize the thermal gradient and reduce heat stress response in dairy cows.** Journal of Dairy Science, v.101, p.1–15, june. 2018.

STELLETTA, C. et al. **Thermographic applications in veterinary medicine.** In: Prakash, R.V. (Ed.), Infrared Thermography. In Tech, 2012. p. 117–140.