



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ANIMAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

LEONARDO LELIS DE MACEDO COSTA

TERMÓLISE EVAPORATIVA E PRODUÇÃO DE LEITE EM VACAS MISTIÇAS
HOLANDÊS x ZEBU EM AMBIENTE EQUATORIAL

MOSSORÓ – RN
2016

LEONARDO LELIS DE MACEDO COSTA

TERMÓLISE EVAPORATIVA E PRODUÇÃO DE LEITE EM VACAS MISTIÇAS
HOLANDÊS x ZEBU EM AMBIENTE EQUATORIAL

Tese apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-árido – UFERSA, Campus de Mossoró, como exigência final para a obtenção do título de Doutor no Curso de pós-Graduação em Ciência Animal.

Linha de pesquisa: Produção e conservação animal no semiárido.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Gomes da Silva – UFERSA

MOSSORÓ – RN
2016

© 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 da 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.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
BIBLIOTECA CENTRAL ORLANDO TEIXEIRA - CAMPUS MOSSORÓ
Setor de Informação e Referência

C837t Costa, Leonardo Lelis De Macedo.

Termólise evaporativa e produção de leite em vacas mestiças
Holandês x Zebú em ambiente equatorial / Leonardo Lelis De Macedo
Costa. - Mossoró, 2016.
55f: il.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Gomes da Silva

Tese (DOUTORADO EM CIÊNCIA ANIMAL) - Universidade Federal
Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

1. Bovinos. 2. Evaporação cutânea. 3. Evaporação respiratória. 4.
Sudação. I. Título

RN/UFERSA/BOT041

CDD 636.2

LEONARDO LELIS DE MACEDO COSTA

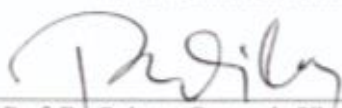
TERMÓLISE EVAPORATIVA E PRODUÇÃO DE LEITE EM VACAS MISTIÇAS
HOLANDES X ZEBU EM AMBIENTE EQUATORIAL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciência Animal.

Linha de Pesquisa: Produção e conservação animal no semiárido.

Defendida em: 22 / 02 / 2016.

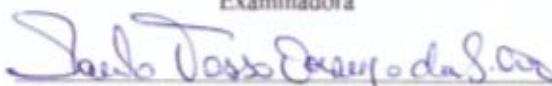
BANCA EXAMINADORA



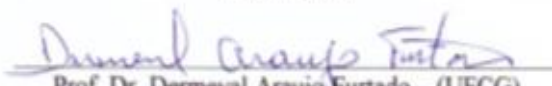
Prof. Dr. Roberto Gomes da Silva – (UFERSA)
Presidente e Orientador



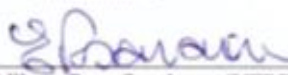
Prof. Dra. Aracely Rafaelle Fernandes Ricarte – (UFERSA)
Examinadora



Prof. Dr. Saulo Tasso Araujo da Silva – (UFERSA)
Examinador



Prof. Dr. Dermeval Araujo Furtado – (UFCG)
Examinador



Prof. Dr. Edilson Paes Saraiva – (UFPB)
Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Dr. Roberto Gomes da Silva, **ORIENTADOR**. Hoje posso dizer que tudo o que faço penso em suas diretrizes, se estou coletando dados sigo suas orientações e lembro das suas palavras, quando em sala de aula busco a todo tempo tornar a aula dinâmica, ilustrativa e tão didática quanto as dele. Me orgulho muito de ter sido orientado pelo Senhor!

Agradeço a banca examinadora Professor Dr. Saulo Tasso Araujo da Silva, pela parceria e contribuição no desenvolvimento desse e de outros trabalhos. Professora Dra. Aracely Rafaelle Fernandes Ricarte, por todas as contribuições, participou da qualificação, pré-defesa e defesa da tese. Ao Professor Dr. Dermeval Araujo Furtado e Prof. Dr. Edilson Paes Saraiva que gentilmente aceitaram participar e puderam dar suas valiosas contribuições.

Agradeço a minha esposa, Ivana Cristina Nunes Gadelha Lelis, com nossa luta compartilhada diariamente, as conquistas se tornam meros detalhes de um relacionamento sólido.

Agradeço aos meus pais, Camilo Lelis Dias da Costa e Sandra Maria de Macedo Costa, aos meus irmãos Camila, Kiko, Sanderson e Cibele, cada um com sua contribuição e torcida que vem desde a graduação.

Agradeço aos meus sogro e sogra, Dr. Ailton Gadelha e Dra. Jacinta, fundamentais na execução das minhas coletas de dados, sem contar no apoio incondicional.

A minha família, especialmente aqueles que estão mais próximos ou que me apoiam desde a graduação, tia Vera, Tia Zélia, Vovó Maria Dias (*in memoriam*), tia Ivonete e Fernando Ricardo.

Agradeço à Luís Girão e todos aqueles da fazenda Flor da Serra que diretamente ou indiretamente contribuíram com a execução do projeto, em especial a Alexssandro Guerreiro, amigo, muito prestativo, peça fundamental para o desenvolvimento da tese.

Agradeço aos meus ex-orientadores Professor Dr. Alexandre Rodrigues Silva e Professor Dr. Alex Sandro Campos Maia, suas contribuições fazem parte da minha história e do meu presente.

Ao Professor Dr. Valdir Martins da Fonseca Filho pela amizade e pelo profissionalismo, forneceu subsidio e liberdade para que eu pudesse executar meu trabalho.

Aos amigos João Paulo, João Batista e Tibério Castelo pela contribuição, ao longo do período de doutorado.

Agradeço aqueles que me ajudaram nas coletas de dados Leandro Alves, Bruno Araujo, Sueli Santiago, Shirley Ribeiro, Walesca Nayane e Iago.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Termólise evaporativa e produção de leite em vacas mestiças Holandês x Zebu em ambiente equatorial

LEONARDO LELIS DE MACEDO COSTA – Nascido no Município de Natal-RN no dia 07/09/1981, filho de Camilo Lelis Dias da Costa e Sandra Maria de Macedo Costa, concluiu o ensino fundamental e médio no Colégio Marista de Natal no ano 2000. Graduou-se em Medicina Veterinária pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) em 2007.2, na qual realizou trabalhos de iniciação científica na área de reprodução. Em janeiro 2009, foi selecionado pelo Programa em Pós-Graduação em Ciência Animal da UFERSA, onde ingressou no Núcleo de Biometeorologia e Bem Estar Animal – NUBBEA, na qual desenvolveu estudos na área de Biofísica Ambiental e Bioclimatologia, além do trabalho de dissertação “Termorregulação da bolsa escrotal associada à qualidade do sêmen de caprinos na região semiárida”. Em junho de 2010, foi aprovado em concurso para professor efetivo das disciplinas de Biofísica (curso de Biotecnologia) e Biofísica Ambiental (curso de Ecologia), junto ao Departamento de Ciências Animais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Obteve o título de mestre em agosto de 2010, ingressou no programa de pós-graduação, novamente, em março de 2012, sob a orientação do Professor Dr. Roberto Gomes da Silva, com o projeto intitulado em “Termólise evaporativa e produção de leite de vacas mestiças da raça Holandesa em ambiente equatorial”.

TERMÓLISE EVAPORATIVA E PRODUÇÃO DE LEITE EM VACAS MISTIÇAS HOLANDÊS x ZEBU EM AMBIENTE EQUATORIAL

COSTA, L. L. M. **TERMÓLISE EVAPORATIVA E PRODUÇÃO DE LEITE EM VACAS MISTIÇAS HOLANDÊS x ZEBU EM AMBIENTE EQUATORIAL**, 2016. 55f. Tese (Doutorado em Ciência Animal: Produção Animal) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2016.

RESUMO: A termólise evaporativa é o principal mecanismo de eliminação de calor pelos animais em ambiente com alta temperatura do ar, que é uma das características da região semiárida. Dessa forma, o objetivo foi investigar o efeito da termólise evaporativa sobre a produção de leite em região de baixa latitude. Para isso, foram utilizadas 302 vacas, no município de Limoeiro do Norte – CE, Brasil. Foram coletados dados do ambiente: temperatura do ar (t_A , °C), temperatura de bulbo úmido (T_{bu} , °C), umidade relativa (UR, %), pressão parcial de vapor (P_V , kPa), velocidade do vento (U , ms^{-1}), temperatura do globo negro ao sol (T_G sol, °C), à sombra (T_G sombra, °C) e radiação solar (R , Wm^{-2}). Assim, foram calculadas as cargas térmicas radiantes ao sol (CTR sol, Wm^{-2}) e à sombra (CTR sombra, Wm^{-2}) e a temperatura radiante média ao sol (T_{RM} , °C); dados fisiológicos: temperatura da superfície dos pelames preto (TSN, °C), branco (TSB, °C), temperatura retal (T_R , °C), frequência respiratória (FR, $movmin^{-1}$), peso (kg), porcentagem da malha preta (%), sudação (S_{ud} , $gm^{-2}s^{-1}$) e temperatura do ar expirado (T_{EXP} , °C). Posteriormente, foram calculadas as perdas de calor por evaporação na superfície cutânea (E_S , Wm^{-2}) e pela via respiratória (E_R , Wm^{-2}); Quanto a produção, foram registradas as produções diárias das vacas (total), produção no turno da manhã (M) e no turno da tarde (T), foi calculada a diferença entre os turnos manhã e tarde (ΔP). Os dados foram analisados por meio de regressões múltiplas das variáveis fisiológicas sobre as variáveis meteorológicas, das variáveis meteorológicas sobre os dados de produção e das variáveis fisiológicas sobre os dados de produção, bem como foram realizadas as correlações entre todas as variáveis estudadas. As médias dos dados ambientais foram: $t_A=31,8 \pm 2,4$ °C, UR = 42,45 $\pm 7,3\%$, t_G sombra = 35,7 $\pm 2,7$ °C, t_G sol = 42,1 $\pm 4,7$ °C, $R= 765 \pm 229 Wm^{-2}$; as médias das variáveis fisiológicas foram: $T_R=39,3 \pm 0,54$ °C, FR = 60,6 $\pm 18,2$ $movmin^{-1}$, TSN=40,07 $\pm 2,73$ °C, TSB=36,9 $\pm 2,01$ °C, $E_R=47,86 \pm 12,15 Wm^{-2}$ e $E_S 120,8 \pm 35,61 Wm^{-2}$; e as médias das produções foram: total = 10,8 $\pm 4,19$ L/vaca/dia, pela manhã 6,78 $\pm 2,3$, à tarde 4,02 $\pm 2,02$ L/vaca e diferença média foi de 2,75 $\pm 1,45$ L/vaca/dia. Houve correlação de todas as variáveis ambientais com as fisiológicas. Quando comparadas às variáveis ambientais a t_A apresentou maior influência sobre as variáveis fisiológicas; variáveis fisiológicas foram correlacionadas com os dados de produção, a E_R apresentou maior correlação com a ΔP . Em conclusão, as variáveis ambientais; T_{max} e ΔT apresentaram influência sobre a diferença entre as ordenhas M e T. Como consequência do aumento dessas variáveis ocorreu perda na produção leiteira diária. As vacas Holandês x Zebu apresentaram aumento da FR, E_S e E_R à medida que a T_R aumentou. Quando esses animais estavam em situação de estresse, segundo índice de estresse térmico para vacas (ITSC), as variações mais discretas das respostas fisiológicas indicaram maior equilíbrio entre as produções da manhã e da tarde e, as vacas que apresentaram as respostas mais acentuadas também apresentaram maiores diferenças entre as produções da manhã e da tarde. A perda de calor por evaporação respiratória apresentou maior efeito sobre a diferença entre as ordenhas da manhã e da tarde, o que indica inadequação, à região de baixa latitude, das vacas que apresentaram grande variação na taxa de evaporação respiratória, resultando assim, uma maior perda leiteira diária.

Palavras-Chave: bovinos, evaporação cutânea, evaporação respiratória, sudação.

EVAPORATIVE HEAT LOSS AND MILK PRODUCTION OF CROSSBRED HOLSTEIN COWS IN EQUATORIAL ENVIRONMENT

COSTA, L. L. M. EVAPORATIVE HEAT LOSS AND MILK PRODUCTION OF CROSSBRED HOLSTEIN X ZEBU COWS IN EQUATORIAL ENVIRONMENT, 2016. 55f. Thesis (doctoral degree in Animal Production) - Federal Rural University of Semiarid, Mossoró – RN, Brazil, 2016.

SUMMARY: The evaporative heat loss is the main mechanism for removing heat by animals in the heat and high air temperature, which is one of the characteristics of the semiarid region. Thus, the aim of the study was to investigate the effect of evaporative heat loss of milk production in low-latitude region. For this, 302 cows were use in the Limoeiro do Norte - CE, Brazil. Environmental data were collect: air temperature (t_A , °C), wet bulb temperature (T_{bu} , °C), relative humidity (RH, %), partial vapor pressure (P_v , kPa), wind speed (U , $m \cdot s^{-1}$), black globe temperature of the sun ($T_{G \text{ sun}}$, °C) in the shade ($T_{G \text{ shadow}}$, °C) and solar radiation (R , $W \cdot m^{-2}$). Thus, were calculate the radiant heat load in the sun (RHL sun, $W \cdot m^{-2}$) and the shade (RHL shadow, $W \cdot m^{-2}$) and the mean radiant temperature in the sun (TRM, °C); physiological data: surface temperature of black surface (T_{SN} , °C), white (T_{SB} , °C), rectal temperature (T_R , °C), respiratory rate (FR, $breaths \cdot min^{-1}$), weight (kg), percentage of black surface (%), sweating (Sud , $g \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) and expired air temperature (T_{exp} , °C). Subsequently, the evaporative heat losses were calculate on the skin surface (E_S , $m \cdot W^{-2}$) and by the respiratory rate (E_R , $W \cdot m^{-2}$); As for production, the daily production of the cows were recorded (total) production in the morning shift (M) and in the afternoon (T), we calculated the difference between the morning and afternoon shifts (ΔP). The data analyzed through Multiples regressions of physiological variables on the weather variables, the weather variables on production data and physiological variables on production data as well as the correlations between all variables were carried out. The average environmental data were: $t_A = 31.8 \pm 2.4$ °C; $UR = 42.45 \pm 7.3\%$; $t_G \text{ shadow} = 35.7 \pm 2.7$ °C; $t_G \text{ sun} = 42.1 \pm 4.7$ °C; $R = 765 \pm 229 W \cdot m^{-2}$; the means of physiological variables were: $t_R = 39.3 \pm 0.54$ °C; $FR = 60.6 \pm 18.2$ $breaths \cdot min^{-1}$; $T_{SN} = 40.07 \pm 2.73$ °C; $T_{SB} = 36.9 \pm 2.01$ °C; $E_R = 47.86 \pm 12.15$ $W \cdot m^{-2}$ and E_S $120.8 \pm 35.61 W \cdot m^{-2}$; and the means of production were: total = 10.8 ± 4.19 L/cow/day in the morning 6.78 ± 2.3 ; 4.02 ± 2.02 L/cow in the afternoon and mean ΔP was 2.75 ± 1.45 L/cow/day. There was a correlation of all the environmental variables with the physiological. Compared to environmental variables t_A had a higher influence on the physiological variables; physiological variables were correlated with production data, the E_R showed a higher correlation with ΔP . In conclusion, the environmental variables; T_{max} and ΔT had influence on the difference between milkings M and T. As a result of the increase of these variables was lost in daily milk production. The Holstein x Zebu cows showed increased FR, E_S and E_R as the T_R increased. When these animals were under stress, according ITSC, the most discrete changes in physiological responses indicated greater balance between morning productions and afternoon, and cows that showed the sharpest responses also showed higher differences between the morning Productions and pm. The heat loss by respiratory evaporation had the highest effect on the difference between milkings the morning and afternoon, which indicates inadequate to the low-latitude region of cows showed a great variation in respiratory evaporation rate, thus resulting in a higher milk loss daily.

Keywords: cattle, respiratory evaporation, skin evaporation, sweating.

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°C	Graus Celsius
CO ₂	Gás carbônico
E _R	Evaporação respiratória
E _S	Evaporação da superfície cutânea
f _{AC}	Fluxo de ar dentro da cápsula (calorímetro)
F _R	Frequência respiratória
g·s ⁻¹ ·m ⁻²	Gramas por segundo por metro quadrado
g·m ⁻³	Gramas por metro cúbico
H ₂ O	Água
ITSC	Índice de estresse térmico para vacas
J·g ⁻¹	Joules por grama
kg	Kilogramas
kPa	Kilopascal
m ²	Unidade de área (metros quadrados)
m ³ ·s ⁻¹	Unidade de fluxo (volume por segundo)
mov·min ⁻¹	Unidade de frequência (movimentos por minuto)
P _{v{tA}}	Pressão parcial de vapor do ar
P _{v{tAC}}	Pressão parcial de vapor a temperatura interna da cápsula
R _C	Radiação de ondas curtas
R _L	Radiação de ondas longas
S _{ud}	Sudação
TSPSC	Temperatura de superfície cutânea do corpo
T _A	Temperatura do ar em Kelvin
t _A	Temperatura do ar em graus Celsius
t _{AC}	Temperatura do ar dentro da cápsula
TCI	Temperatura crítica inferior
TCS	Temperatura crítica superior
T _R	Temperatura retal
W·m ⁻²	Watts por metro quadrado
λ	Calor latente de vaporização
Ψ	Umidade absoluta
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-árido

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variação da produção leiteira por dia, publicada por diversos autores em diferentes latitudes e temperaturas do ar.	19
Tabela 2: Classificação de estresse térmico segundo ITSC.	32
Tabela 3: Valores mínimos, máximos, média e erro padrão da média das variáveis ambientais temperatura do ar (t_A), umidade relativa (UR), temperaturas do globo à sombra (T_G sombra) e ao sol (T_G sol), Radiação (R) e as temperaturas radiante média à sombra (T_{RM} sombra) e ao sol (T_{RM} sol).	34
Tabela 4: média da radiação global, temperaturas mínima e máxima do dia de coleta (0) e dos 4 dias que antecederam a verificação da produção diária.	34
Tabela 5: Valores mínimos, máximos, média e erro padrão da média das variáveis fisiológicas, temperatura retal (T_R), frequência respiratória (FR), temperaturas das superfícies negra (TSN) e branca (TSB) e perdas evaporativas através da respiração (E_R) e da superfície cutânea (E_S).	35
Tabela 6: Coeficientes de correlação entre as variáveis fisiológicas: Peso, Temperatura retal (T_R), Temperatura da superfície do pelame na malha negra (TSP), Temperatura da superfície do pelame na malha branca (TSP), Frequência respiratória (FR), Perda de calor por evaporação respiratória (E_R), Perda de calor por evaporação na superfície cutânea (E_S).	36
Tabela 7: Porcentagem de animais com suas respectivas porcentagens de pelame negro.	37
Tabela 8: Coeficientes de correlação entre as variáveis fisiológicas: Peso, Temperatura retal (T_R), Temperatura da superfície do pelame na malha negra (TSP), Temperatura da superfície do pelame na malha branca (TSP), Frequência respiratória (FR), Perda de calor por evaporação respiratória (E_R), Perda de calor por evaporação na superfície cutânea (E_S) e porcentagem da perda calor por evaporação respiratória sobre a evaporação na superfície cutânea ($\%E_R/E_S$) e eariáveis meteorológicas: Temperatura do ar (t_A), Temperatura de bulbo úmido (T_{bu}); Umidade Relativa (UR); Radiação de ondas curtas (R); Temperatura radiante média à sombra (T_{RM}), Temperatura radiante média ao sol (T_{RM} sol) e Pressão parcial de vapor (P_V).	38
Tabela 9: Quadrados médios das análises da variância das regressões das variáveis ambientais sobre as variáveis fisiológicas.	39
Tabela 10: Correlações das produções da manhã (M), tarde (T), total e diferença entre manhã e tarde (ΔP) com as variáveis ambientais do dia de registro da produção (0) e os 4 dias que antecederam as coletas.	41
Tabela 11: Quadrados médios das análises da variância das regressões das variáveis ambientais (Radiação, $T_{m\acute{a}x}$, ΔT e $T_{m\acute{i}n}$) sobre as variáveis de produção (ΔP e % perdas Leiteiras diárias).	43

Tabela 12: Correlações das produções da tarde (T), diferença entre manhã e tarde (ΔP) e porcentagem da produção da tarde sobre a manhã com as variáveis ambientais T_R , FR , E_R e E_S , para as quatro classificações de ITSC observadas durante o experimento. 45

Tabela 13: Quadrados médios das análises da variância das regressões das variáveis fisiológicas (T_R , FR , E_R e E_S) sobre as variáveis de produção (ΔP) e (%T/M). 46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Consumo de oxigênio por bovinos de três grupos raciais (Brahman, BHS = Brahman x Hereford-Shorthorn e Shorthorn), segundo a temperatura ambiente. Adaptado, por Silva; Maia, 2013, de Finch (1985).	18
Figura 2: Produção leiteira em função da temperatura retal. Adaptado de Zimmerman et al. (2009).	24
Figura 3: (A) Tronco de contensão e área de coleta de dados. (B) display, demonstrando a irradiância de ondas curtas ($W \cdot m^{-2}$). (C) Radiômetro.	26
Figura 4: Vacas mestiças da raça Holandesa em curral à espera das medições.	28
Figura 5: Avaliação da temperatura da superfície das vacas ao sol, termômetro de infravermelho.	29
Figura 6: (A) Analisador de CO_2/H_2O . (B) Cápsula ventilada, desenvolvida por Maia et al (2005). Confeccionada a partir de um cano plástico de 9.6cm diâmetro e 6.78cm comprimento, com tubo de entrada de ar da atmosfera, tubo de saída de ar ligada ao analisador de CO_2/H_2O . (C) cápsula vista de dentro, contendo furos para melhor homogeneização do ar.	30
Figura 7: Cápsula para medir a temperatura do ar expirado, contendo um tubo plástico, saco de polietileno e termômetro digital com termorresistência tipo K.	31
Figura 8: Dispersão da temperatura retal em função do peso das vacas.	36
Figura 9: Dispersão das perdas de calor latente em função do peso dos animais.	36
Figura 10: Perdas de calor por evaporação cutânea e respiratória em função da temperatura retal.	38
Figura 11: Dispersão da temperatura retal ($^{\circ}C$) e da frequência respiratória em função da temperatura do ar.	40
Figura 12: Variação das temperaturas de superfície branca (TSB) e negra (TSN) em função da radiação solar de ondas curtas.	41
Figura 13: Perdas de calor por evaporação respiratória e na superfície cutânea em função da temperatura do ar.	43
Figura 14: Dispersão da ΔP em função do aumento da temperatura máxima.	43
Figura 15: Dispersão da ΔP em função da amplitude de temperatura diária.	44

Figura 16: Dispersão da perda leiteira/dia (%) em função do aumento da temperatura máxima.	44
Figura 17: Dispersão da perda leiteira/dia (%) em função do aumento da amplitude de temperatura diária.	44
Figura 18: Dispersão de ΔP sobre a perda de calor por evaporação respiratória.	47
Figura 19: Dispersão de ΔP sobre a perda de calor por evaporação de superfície.	47

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 GERAL	17
2.2 ESPECÍFICOS	17
3 REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1 ANIMAIS E AMBIENTE CLIMÁTICO.....	18
3.2 EFEITO DO AMBIENTE SOBRE A PRODUÇÃO DE LEITE.....	19
3.3 TERMORREGULAÇÃO.....	21
3.3.1 Transferência de calor latente	21
3.3.1.1 Evaporação cutânea	22
3.3.1.2 Evaporação respiratória	22
3.4 TEMPERATURA RETAL	23
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4.1 ANIMAIS E LOCAL	25
4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	25
4.3 DADOS METEOROLÓGICOS	26
4.3.1 Propriedades físicas da atmosfera	26
4.4 VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS.....	28
4.4.1 Temperatura retal (T_R, °C)	28
4.4.2 Frequência respiratória (FR, mov./min.)	28
4.4.3 Temperatura da superfície de pelame (TSP e TSB, °C)	29
4.4.4 Perda de calor por evaporação na superfície corporal (E_S, $W \cdot m^{-2}$)	29
4.4.5 Perda de calor por evaporação respiratória (E_R, $W \cdot m^{-2}$)	31
4.5 DADOS DE PRODUÇÃO DE LEITE.....	32
4.6 ÍNDICE DE ESTRESSE TÉRMICO PARA VACAS (ITSC)	32
4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	33

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 DADOS DO AMBIENTE	34
5.2 VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS	35
5.3 RELAÇÃO FISIOLÓGICOS X AMBIENTE	36
5.4 RELAÇÃO PRODUÇÃO X FISIOLÓGICOS X AMBIENTE.....	41
 6 CONCLUSÕES	 48
 REFERÊNCIAS	 49

1 INTRODUÇÃO

A região intertropical é uma faixa do globo terrestre bastante diversificada, tendo em vista que as localidades próximas aos trópicos apresentam estações bem definidas, e as localidades próximas à linha do Equador apresentam uma variação de temperatura pequena ou insignificante devido aos altos índices de radiação ao longo do ano. A região semiárida compreende cerca 84,48% do Nordeste. Onde encontra-se o Polígono das Secas, caracterizado por baixa pluviosidade e risco de seca maior que 60%. Existem nessa região duas estações distintas, a chuvosa que possui duração entre 3 e 5 meses e a seca entre 7 a 9 meses, apresenta altas temperaturas (máximas de 38°C) e elevada incidência de radiação solar (máxima de 1200 Wm⁻²), que ocorrem durante todos os meses do ano, podendo promover situações de desconforto térmico aos animais, sobretudo às de raças mais produtivas, que geralmente são oriundas de clima temperado (CHAGAS, 1997; MARENGO, 2008; COSTA, 2010).

Os altos níveis de radiação provocam efeitos diretos e indiretos aos animais: diretos, alta absorção de energia na superfície, com danos à epiderme (especialmente nas áreas despigmentadas), ocorrem ainda, alterações comportamentais, como busca por sombra nos horários de maior incidência de radiação solar. Indiretos, através de variações na temperatura e na umidade do ar (SILVA; MAIA, 2011).

O desenvolvimento do sistema de produção de vacas leiteiras em condições ambientais adversas tem sido objeto de estudo ao redor do mundo. A estratégia básica de termorregulação dos mamíferos permite que ocorra um fluxo de calor por condução, convecção, radiação e evaporação. Porém, quando as temperaturas do ar e dos animais estão próximas, o fluxo de calor sensível é prejudicado. Dessa forma, a importância da eliminação de calor por evaporação se evidencia, pois essa depende principalmente da pressão de vapor da atmosfera (SILVA; MAIA, 2011).

A elevada carga térmica, causada por uma combinação da temperatura do ar, umidade relativa, movimento do ar e radiação solar, leva a aumentos da temperatura corporal, da frequência respiratória e reduz o consumo de ração, consequentemente provoca queda nas produções de leite e carne (HAHN, 1999; SILVA, 2000; OMINSKI et al., 2002; WEST, 2003). A carga térmica em excesso também afeta negativamente o desempenho reprodutivo em bovinos de leite, reduzindo a fertilidade e aumentando o intervalo entre partos, o que afeta diretamente a produção leiteira em uma propriedade (DE RENSIS; SCARAMUZZI, 2003; JORDAN, 2003).

O grande desafio para vacas de alta produção em climas quentes é para dissipar o calor produzido por processos metabólicos, o qual se eleva com o aumento da capacidade produtiva. Vacas produzindo 18,5 e 31,6 kg de leite/dia produzem 27,3 e 48,5% a mais de calor, respectivamente, quando comparadas com vacas secas (PURWANTO et al., 1990). Além disso, a produção é afetada pela menor ingestão de alimentos, que desencadeia uma série de respostas culminando no decréscimo da produção diária de leite/vaca em ambientes quentes, quando comparadas a regiões com temperatura médias baixas, essas produções podem variar de 10,9 kg/vaca/dia até 42,74 kg/vaca/dia (BEEDE; SHEARER, 1991; IGONO et al., 1992; DOMINGOS et al., 2013; JOKSIMOVIĆ-TODOROVIĆ et al., 2011).

De acordo com Silva e Maia (2011), as vacas criadas na região equatorial semiárida apresentam maiores temperaturas retais, bem como maior capacidade de termólise respiratória e cutânea, quando comparadas com aquelas criadas na região dos trópicos. Os resultados apontam a necessidade de novos estudos nessa região, levando-se em consideração a produção de leite, tempo de exposição à radiação solar e hereditariedade da capacidade de termólise evaporativa.

2 OBJETIVOS

2.1 – GERAL

Investigar o efeito da termólise evaporativa sobre a produção de leite em região de baixa latitude.

2.2 – ESPECÍFICOS

Avaliar termólise evaporativa, frequência respiratória, temperatura de superfície e temperatura retal de vacas leiteiras e sua correlação com os índices de radiação, temperatura do ar, umidade relativa e carga térmica radiante do meio.

Avaliar a influência das variáveis ambientais (temperatura máxima, mínima, radiação e amplitude de temperatura diária) sobre a produção leiteira da manhã, da tarde, total e da diferença entre as produções da manhã e tarde.

Avaliar as respostas produtivas em função das variáveis fisiológicas.

Calcular o índice de estresse térmico para vacas (ITSC)

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 ANIMAIS E AMBIENTE CLIMÁTICO

Os bovinos estão espalhados pelo mundo e submetidos a uma grande diversidade de condições ambientais, sendo que em cada ambiente vive um grupo mais ou menos diferenciado, adaptados de tal maneira que, em geral, podem ter sua produção diminuída ou alterada ao serem transferidos para ambientes diferentes (SILVA, 2000).

A especialização para a alta produção leiteira envolve metabolismo intenso, ingestão de grandes quantidades de energia metabolizável e alta eficiência na utilização dos alimentos, a redução do consumo de matéria seca pode representar a principal causa da diminuição da produção de leite (BACCARI JUNIOR, 1998).

Bovinos de origem europeia tendem a apresentar níveis de metabolismo mais elevados que as raças zebuínas e usam a variação da termogênese como um meio de adaptar-se a ambientes quentes. Quando os animais ultrapassam uma dada temperatura, o metabolismo diminui, isso é mostrado pela queda no consumo de O_2 . Os Zebuínos apresentam metabolismo normalmente cerca de 20% mais baixo que bovinos de raças europeias, nas mesmas condições, como consequência apresenta menor capacidade produtiva. Isso permite que os zebuínos suportem temperaturas ambientes mais elevadas, pois há espaço para a absorção de calor do ambiente. Assim, os zebuínos tendem a ter temperatura corporal mais alta que os animais de origem europeia, em condições tropicais (Figura 1) (SILVA, 2000, SILVA; MAIA, 2013).

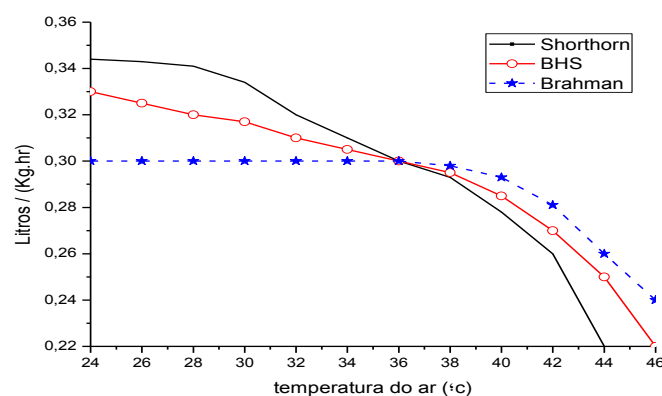


Figura 1: consumo de oxigênio por bovinos de três grupos raciais (Brahman, BHS = Brahman x Hereford-Shorthorn e Shorthorn), segundo a temperatura ambiente. Conforme Finch (1985), adaptado por Silva; Maia (2013).

3.2 EFEITO DO AMBIENTE CLIMÁTICO SOBRE A PRODUÇÃO DE LEITE

De acordo com Maust et al. (1972), o estresse térmico não afetaria a produção de leite no mesmo dia, o aumento na temperatura corporal causaria uma redução na ingestão de alimentos, a qual por sua vez levaria a uma queda na produção de leite poucos dias depois. Conforme Beede e Shearer (1991), publicaram que a redução da ingestão de alimentos em razão do estresse pelo calor leva a um menor fluxo de sangue à veia porta (fígado) e à glândula mamária, onde uma menor quantidade de nutrientes e energia estará disponível para a produção de leite.

Igono et al. (1985) observaram a variação da produção de leite em dois rebanhos do Arizona (USA) durante um ano. Nas condições locais (deserto, com altas temperaturas durante o dia), a melhor produção diária ocorria nos períodos de termoneutralidade. A diminuição das horas do dia com essas características levava a uma sensível queda da produção.

A influência do ambiente com elevadas temperaturas e altos níveis de radiação sobre a produção é conhecida e pode ser observada nos diversos artigos publicados com a produção média diária (Tabela 1), Kadzare et al. (2002) aponta para o fato de que à temperatura do ar a 35°C a quantidade de leite é reduzida em 33%, quando se eleva para 40°C a perda leiteira chega a 50%. De acordo com Silva e Sousa Jr. (2013), trabalhando em latitude -09°04'28" e 277m de altitude, vacas expostas à radiação solar direta por um tempo mínimo de uma hora a partir das 10:00 h têm sua produção diária de leite reduzida consideravelmente, condição determinante da baixa produção de leite na região semiárida.

Tabela 1: Variação da produção leiteira por dia, publicada por diversos autores em diferentes latitudes e temperaturas do ar.

Autores	Local	Latitude – altitude	Temperatura (°C) / estação	Produção média (kg/vaca/dia)
Domingos et al., 2013	Brasil	- 5° 11' – 20m	25,0 – 35,3	10,9
Silva, 2014.	Brasil	- 5°08'44" – 122m	18,0 – 37,0	15,0
Damaceno et al., 1998	Brasil	- 22°42'30" – 546m	21,1 – 30,9	22,0
Martello et al., 2004	Brasil	- 21°55'02" – 630	19,3 – 32,7	20,9
Barbosa et al., 2004	Brasil	-23°25' – 550m	20,0 – 34,0	18,82
Joksimović-Todorović et al., 2011	Servia	44,786568°	Verão	39,60
			Primavera	42,74

Durante o estresse térmico ocorre também aumento do fluxo sanguíneo periférico buscando reduzir a temperatura corporal, tendo como consequência redução na absorção de

nutrientes e na disponibilidade desses à glândula mamária, além disso a temperatura ambiente provoca perturbação no equilíbrio de energia, por conseguinte na atividade das glândulas mamárias (RHOADS et al., 2009). Joksimović-Todorović et al. (2011) observaram queda significativa na produção de leite durante o verão, concluindo que sistemas de resfriamento evaporativos e proteção da radiação solar direta são essenciais para reduzir as perdas na produção de leite.

A maioria das propriedades leiteiras adota o sistema de duas ordenhas por dia e normalmente no turno da manhã a produção leiteira é significativamente maior, quando comparadas à ordenha da tarde. Assim, Segundo Teixeira et al. (2006) que compararam a primeira lactação com outras lactações, a primeira apresentou médias menores de produção de leite. As médias para os controles da manhã e da tarde foram 11,79 e 9,91 kg/ordenha e 13,60 e 11,06 kg/ordenha, respectivamente, para primeira e outras lactações.

Barbosa et al. (2004) avaliaram vacas Holandesas em temperatura ambiente variando entre 14,3°C pela manhã e 37,2°C à tarde, a produção de leite pela manhã ($10,98 \pm 1,50$ kg/vaca) foi significativamente maior que à tarde ($6,74 \pm 1,17$ kg/vaca) e verificaram um aumento de aproximadamente 2 kg de leite por dia quando os animais estavam à sombra e aspersão quando comparados aqueles que apresentavam-se apenas à sombra. Os resultados demonstram que a ação de aspergir os animais com água tem efeito benéfico, contribuindo satisfatoriamente para a melhoria da produção leiteira. Segundo Collier et al. (1981), a produção maior no período da manhã se deve provavelmente ao intervalo entre a primeira e segunda ordenha, inferior a 12 horas, variações estas não inerentes ao efeito da aspersão de água e da disponibilidade ou não de sombra.

No entanto, Damaceno et al. (1998) avaliaram vacas expostas ao sol e vacas com acesso a sombra, com duas ordenhas por dia, 6 e 18h, estas apresentaram diferenças significativas, tanto entre os grupos quanto entre as ordenhas, as vacas expostas ao sol produziram 11,8 kg de leite pela manhã e 9,1 kg de leite à tarde em média/vaca, já aquelas com acesso a sombra produziram 12,7 kg pela manhã e 9,9 kg/vaca a tarde em média. Os mesmos autores afirmaram que a proteção da área de descanso dos animais contra a radiação solar direta resultou em redução na frequência respiratória e temperatura retal, aumento de 8,1% na produção de leite e melhora na eficiência de utilização do alimento consumido para a produção de leite. As condições ambientais no período noturno não permitiram aos animais sob regime de sombreamento parcial, principalmente, dissipação total do excesso de calor adquirido nas horas mais quentes do dia, resultando em temperaturas retais na manhã seguinte superiores às consideradas normais.

3.3 TERMORREGULAÇÃO

Dentro de uma ampla faixa de temperatura podem ser definidas zonas térmicas que proporcionam maior ou menor conforto ao animal. Os animais para terem a máxima produtividade dependem de uma faixa de temperatura adequada, também chamada de zona de conforto térmico, onde o gasto de energia ou incremento metabólico para esfriar ou aquecer o corpo é mínimo. Para a produção este aspecto reveste-se de muita importância, pois dentro desses limites a quantidade de nutrientes ingeridos pelos animais será utilizada para o seu crescimento e desenvolvimento, e não para aquecer ou esfriar o corpo (BAÊTA; SOUZA, 1997; SILVA, 2008).

Em um ambiente quente, como de uma região tropical, a temperatura do ar encontra-se próxima à corporal ou a excede, sendo assim necessário proteger o animal contra a penetração de calor externo, principalmente por radiação. A temperatura radiante média do ambiente tende a ser muito mais elevada que a da atmosfera e, conseqüentemente, a quantidade de energia térmica recebida por radiação de ondas longas pode ser maior que a eliminada. Assim, o processo evaporativo, via cutânea ou respiratória, torna-se o mecanismo de eliminação de calor fundamental para a termorregulação (SILVA, 2008).

3.3.1 Transferência de Calor Latente

Baêta e Souza (2010) citam que um bovino inserido em uma condição térmica estressante, com a temperatura do ar se aproximando da temperatura de superfície, mecanismos sensíveis (condução, convecção e radiação) deixam de ser efetivos na regulação da temperatura, pois o gradiente de temperatura torna-se pequeno, prejudicando a troca de calor por convecção e através da radiação o animal passa a receber calor do meio, havendo a necessidade de ativação fisiológica dos mecanismos de calor latente. Desta forma, a medida que a temperatura do ambiente aumenta a evaporação torna-se o principal mecanismo de termólise, sob esta condição a evaporação na superfície cutânea torna-se a principal via de perda de calor, sendo responsável por aproximadamente 85% da perda total de calor, enquanto o resto é perdido por evaporação respiratória (MAIA et al., 2005).

A quantidade de água evaporada do corpo de um animal depende de diversos fatores, conforme o local da evaporação. No sistema respiratório são importantes a temperatura corporal, o volume e a pressão parcial de vapor do ar expirado. Na superfície da epiderme, os fatores mais importantes são a velocidade do vento, a temperatura da superfície corporal, a

umidade atmosférica, a taxa de transferência de água do interior do corpo para a superfície e a capa de cobertura (pelame) (SILVA, 2008; SILVA; MAIA, 2013).

O ambiente possui uma influência importante nos processos evaporativos e na fisiologia do animal. Em um ambiente quente e muito seco, a evaporação ocorre rapidamente, causando irritação cutânea e desidratação geral e em um ambiente quente e muito úmido, a evaporação se processa lentamente, prejudicando a termólise e aumentando o estresse calórico (SILVA, 2008).

3.3.1.1 Evaporação Cutânea

A evaporação na superfície cutânea é influenciada pela temperatura de superfície e pela condição atmosférica em receber vapor de água, é o principal meio de eliminação de energia térmica dos bovinos em ambientes com altas temperaturas, principalmente por não depender do gradiente de temperatura entre a superfície e o ar atmosférico, essa condição é ideal com umidade relativa entre 35 e 70%. Segundo Silva (2008) a taxa de sudação em vacas Holandesas varia bastante, no Brasil temos valores entre 125 a 300 $\text{gm}^{-2}\text{h}^{-1}$.

De acordo com Silva e Maia (2013) a circulação de sangue na periferia, o tipo de cobertura, capacidade de circulação do ar no pelame, a atividade e o número de glândulas influenciam diretamente a quantidade de suor produzido por um animal. Bovinos criados em um ambiente quente tendem a apresentar glândulas mais volumosas (μm^3), em maior quantidade por cm^2 e maiores taxas de sudação, ou seja, são mais ativos.

3.3.1.2 Evaporação Respiratória

Com relação à troca de calor no sistema respiratório, pode-se utilizar os modelos disponíveis através das equações de transferência de calor para estimar o fluxo térmico entre um animal e um ambiente específico, geralmente necessitam de conhecimento sobre a temperatura e a umidade das superfícies respiratórias do animal. As funções respiratórias podem ser facilmente determinadas no laboratório por meio de dispositivos, tais como máscaras respiratórias e câmaras respiratórias, mas eles são extremamente difíceis de medir, em condições de campo (MAIA et al., 2005).

A evaporação respiratória depende da quantidade de ar e do seu fluxo no sistema respiratório, desta forma quanto maior a frequência respiratória maior será este fluxo, fazendo com que o animal consiga eliminar mais calor para o ambiente. Porém, quanto maior a

frequência respiratória maior será o esforço muscular para executar tal função, e este pode ser o limitante para este tipo de termólise (BIANCA; FINDLAY, 1962; BIANCA, 1973; VILELA et al., 2013).

Thompson et al. (1953) avaliando vacas Jersey e Holandesas observou perda de 70 a 100% por via respiratória, quando a temperatura era de 30 a 38°C. McLean (1963) e Silva e Maia (2011) expuseram vacas a temperatura de 40°C e observaram perdas em torno de 16% do total. Gebremedhim et al. (2001) estudando bezerros da raça Holandesa, observaram que acima de 20°C a perda de calor através da respiração correspondia à 84%.

Por outro lado, Silva et al. (2012) avaliaram a perda de calor latente por vacas da raça Holandesa em uma região equatorial semiárida. Os animais foram expostos a uma temperatura média de 33 °C, a baixa umidade do ar e alta radiação solar. A perda de calor por evaporação respiratória foi de apenas 10%. A atmosfera seca e o vento frequente e forte contribuíram para a maior importância da evaporação cutânea. Segundo Berman (1985) a perda de calor por evaporação respiratória apresenta um aumento exponencial com o aumento da temperatura do ar, e é afetada pela umidade do ar e velocidade do vento.

3.4 TEMPERATURA RETAL

Segundo Silva (2000) a temperatura do corpo não é homogênea e de acordo com a proximidade com os órgãos de maior produção de calor. Assim, regiões superficiais apresentam temperatura mais variáveis e mais sujeitas às influências do ambiente externo, sendo a temperatura de superfície a interação entre a temperatura corporal e as temperaturas do ambiente.

A temperatura retal é a que mais se aproxima da temperatura interna média do corpo. O equilíbrio da temperatura retal ocorre mais lentamente que em outros pontos internos, tornando-se um índice dinâmico apropriado. A medida da temperatura retal é geralmente utilizada como índice de adaptabilidade fisiológica aos ambientes quentes, pois seu aumento indica que os mecanismos de termólise tornaram-se insuficientes na liberação do calor acumulado (SILVA; MAIA, 2013).

A temperatura retal do animal apresenta uma variação dentro de uma faixa constante, indicando situação de homeotermia, esta variação circadiana é afetada por mudanças nas atividades físicas, no nível metabólico, ingestão de alimento e comportamental (SILANIKOVE, 2000; SILVA, 2008). Segundo Zimbelman et al. (2009) o aumento da temperatura retal provoca queda na produção leiteira (Figura 2)

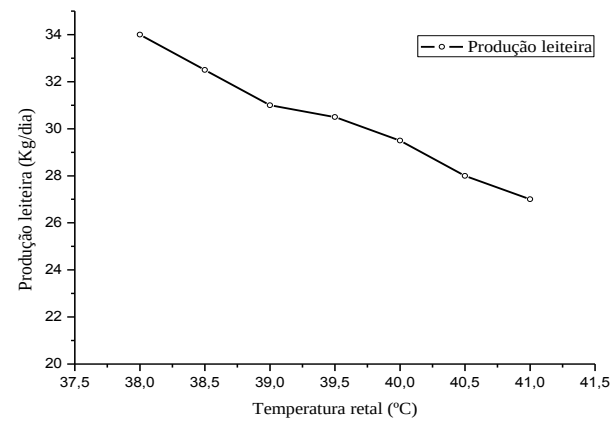


Figura 2: produção leiteira em função da temperatura retal.
Adaptado de Zimbelman et al. (2009).

4 – MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ANIMAIS E LOCAL

Os dados foram coletados na fazenda Flor da Serra, no município de Limoeiro do Norte – CE, localizada a 5° 13' 6" de latitude Sul, 38° 0' 3" W e 153m de altitude, nos meses agosto e setembro. Foram utilizadas 320 vacas mestiças, variando de $\frac{3}{4}$ a 15/16 das raças Holandesa x Zebu, com idade entre 3 e 7 anos e peso entre 310 e 670 kg (média 480 ± 75 kg). Os animais foram mantidos no manejo normal da propriedade, recebendo o alimento concentrado (ração contendo 18% de proteína e 2% de sal mineral); antes e após as ordenhas tinham acesso ao volumoso, capim tanzania (*Panicum maximum*). Também foram fornecidos sal mineral e água limpa e de qualidade *ad libitum*. A fazenda trabalha no regime de duas ordenhas por dia, a primeira começando às 2h e a segunda começando às 14h, com intervalo de 12h entre elas. Os dados foram processados no laboratório de Biometeorologia, Bem-Estar Animal e Biofísica Ambiental (LABBEA) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Mossoró – RN.

4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi executado em duas fases:

A primeira consistiu em coletar dados de produção leiteira ao longo de dois anos, avaliando a produção total diária, da manhã, da tarde e diferença entre a manhã e à tarde. Desta forma, a fazenda apresentou 27 dias as quais haviam registro de produção, então os dados meteorológicos temperatura máxima, temperatura mínima, amplitude de temperatura e radiação global diários foram registrados, nos dias de registro de produção e nos quatro dias anteriores, com o objetivo de verificar qual o dia ou período que exercia maior influência sobre a produção de leite.

Na segunda fase foram avaliadas as variáveis fisiológicas e meteorológicas entre 8 e 14h, nos meses de agosto e setembro de 2015, os dados foram reunidos e os animais foram classificados de acordo com o índice de estresse térmico para vacas. Assim, avaliou-se os efeitos das variáveis fisiológicas sobre a produção de leite da tarde, diferença entre a produção da manhã e tarde e perda leiteira diária por vaca.

4.3 DADOS METEOROLÓGICOS

Para avaliação da influência das variáveis meteorológicas do dia de registro da produção de leite e dos quatro dias que o antecederam as produções da manhã (M), da tarde (T), total e diferença entre as produções da manhã e tarde (ΔP), foram obtidos dados de temperaturas média, mínima e máxima ($t_A, ^\circ\text{C}$) e radiação global ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$) através da estação meteorológica (CAMPBELL SCIENTIFIC) pertencente ao Instituto Federal (IF – CE), durante dois anos.

Nos dias de coleta de dados dos animais as temperatura do ar ($t_A, ^\circ\text{C}$), temperatura do bulbo úmido ($t_{BU}, ^\circ\text{C}$) e umidade relativa do ar foram medidas através de um psicrômetro digital (INSTRUTHERM), a velocidade do vento através de um termoanemômetro (INSTRUTHERM THAL 300) e a temperatura de globo negro ($t_G, ^\circ\text{C}$) através de um globo de 15cm de diâmetro, confeccionado com cobre e chapa de 2 mm. A latitude, a longitude e a altitude do local foram registradas com auxílio de um GPS.

A radiação solar (R, Wm^{-2}) foi monitorada continuamente em intervalos regulares de um minuto através de radiômetro (CAMPBELL SCIENTIFIC) (Figura 3 C), conectado a um datalogger CR1000 (Figura 3 B), instalado no mesmo local onde foram avaliados os animais (Figura 3 A).



Figura 3: (A) Tronco de contenção e área de coleta de dados. (B) display, demonstrando a irradiância de ondas curtas (Wm^{-2}). (C) Radiômetro.

4.3.1 Propriedades físicas da atmosfera

A pressão atmosférica (P_a, kPa) foi medida diretamente através de um analisador de gases ($\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$).

Quanto às propriedades termofísicas da atmosfera: densidade (ρ , gm^{-3}), calor específico (C_p , $\text{Jg}^{-1}\text{C}^{-1}$), condutividade térmica (k , $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$) e a viscosidade cinemática (ν , m^2s^{-1}), além do calor latente de vaporização da água (λ , Jg^{-1}) e constante psicrométrica (γ , $^{\circ}\text{C}^{-1}$) foram obtidas a partir de equações respectivas, encontradas em Silva e Maia (2013).

As temperaturas do ar, de globo negro e velocidade do vento foram utilizadas para calcular a temperatura radiante média (T_{RM} , $^{\circ}\text{C}$) e a carga térmica radiante (Wm^{-2}) a partir da equação adaptada por Silva (2008).

$$T_{\text{RM}} = \left(\frac{\text{CTR}}{\sigma} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (\text{K}) \quad [1]$$

onde: CTR é a carga térmica de radiação e dada como segue:

$$\text{CTR} = 1,053 \cdot h_G (T_G - T_A) + \sigma \cdot T_G^4 \quad (\text{Wm}^{-2}) \quad [2]$$

T_G (K) é a temperatura do globo negro; $\sigma = 5,67051 \cdot 10^{-8}$ ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$) é a constante de Stefan-Boltzman e h_G ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) é o coeficiente de convecção do globo negro,

$$h_G = \frac{k \cdot \text{Nu}}{d_G} \quad [3]$$

d_G é o diâmetro do globo. Nu é o número de Nusselt no caso de esferas, o número de Nusselt para convecção natural é dado pela seguinte equação (SILVA; MAIA, 2013):

$$\text{Nu}_f = 2 + \frac{0,589(G_r \cdot P_r)^{1/4}}{[1 + (0,469/P_r)^{9/16}]^{4/9}} \quad [4]$$

Já para a convecção forçada (SILVA e MAIA, 2013):

$$\text{Nu}_n = 2 + (0,4 \cdot R_e^{1/2} + 0,06 \cdot R_e^{2/3}) P_r^{0,4} \quad [5]$$

Re, Pr e Gr são os números adimensionais, respectivamente de Reynolds, Prandtl e o de Grashof, são dados por:

$$G_r = \frac{g \cdot d^3 (T_G - T_A)}{\nu^2 \cdot T_A} \quad [6]$$

$$P_r = \frac{\rho \cdot C_p \cdot \nu}{\kappa} \quad [7]$$

$$R_e = \frac{U \cdot d}{\nu} \quad [8]$$

Nestas fórmulas, g é gravidade (ms^{-2}), d é a dimensão característica do globo (0,15m), U (ms^{-1}) é a velocidade do vento e ρ , C_p , κ e ν são as propriedades físicas da atmosfera: densidade, calor específico, condutividade térmica e viscosidade cinemática.

O valor final de Nu é dado como

$$Nu = \left[Nu_n^3 + Nu_f^3 \right]^{1/3} \quad [9]$$

4.4 VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS

Os animais foram avaliados a cada 10 minutos e apenas uma vez, quanto à temperatura retal, frequência respiratória, temperatura do ar expirado, temperatura da superfície no pelame branco e preto e sudação da superfície cutânea. Em cada dia de coleta de dados eram avaliados aproximadamente 30 animais, em sequência aleatória. As medições tiveram início a partir das 08:00 horas, após a ordenha da manhã; os animais ficavam em um curral de espera (Figura 4), expostos à radiação solar direta e somente entravam no tronco de contenção após avaliada a frequência respiratória e temperatura de superfície. Por volta das 14 horas, quando iniciava a ordenha da tarde, as coletas eram encerradas.



Figura 4: Vacas mestiças Holandês x Zebu em curral à espera das medições.

4.4.1 Temperatura retal (T_R , °C)

Foi medida com um termômetro clínico, de mercúrio (Incoterm), inserido no reto do animal aproximadamente 15cm, por período mínimo de 3 minutos.

4.4.2 Frequência respiratória (FR, mov./min.)

Foi avaliada pela contagem dos movimentos do flanco durante um intervalo de 15 segundos e multiplicado por quatro, com resultados dados em movimentos/minuto.

4.4.3 Temperatura da superfície de pelame (TSN e TSB, °C)

Foram medidas com termômetro infravermelho (FLUKE® Precision Infrared Thermometers 576), nas porções preta e branca do pelame, a uma distância de 0,30 m (Figura 5). Além disso foi determinada a proporção de malha preta, por observação visual.



Figura 5 A e B: Avaliação da temperatura da superfície das vacas ao sol, com termômetro de infravermelho.

4.4.4 Perda de calor por evaporação na superfície corporal (E_s , Wm^{-2})

A perda de calor foi estimada como sendo o produto da sudação (S_{ud} , $gs^{-1}m^{-2}$) pelo calor latente de vaporização:

$$E_s = \lambda \cdot S_{ud} \quad (Wm^{-2}) \quad [10]$$

O λ é o calor latente de vaporização.

A evaporação cutânea foi medida em regiões de pele selecionadas por meio de uma cápsula ventilada similar a desenvolvida por Maia et al. (2005), com área de boca $0,00724 m^2$, o sistema da cápsula ventilada está apresentado na Figura 6. Nele o ar ambiente é aspirado para dentro do tubo, aplicando-se uma sucção no tubo de saída. No interior da cápsula existem vários orifícios com o objetivo de distribuir o ar homogeneamente sobre a área de teste. O tubo de saída foi conectado ao analisador de gases (Li-Cor, mod. LI-7000). Foi analisada a pressão parcial de vapor do ar ($P_{v\{tA\}}$, kPa), determinada pelo analisador; bem como, determinada a pressão parcial de vapor do ar passando sobre a área de teste saindo da cápsula ($P_{v\{tAC\}}$, kPa). Duas regiões do corpo (pescoço e flanco) foram medidas, sendo a média representativa da taxa de evaporação cutânea média da superfície corporal. Assim, a sudação (S_{ud} , $gs^{-1}m^{-2}$) foi calculada segundo Silva e Maia (2011):

$$S_{UD} = \frac{F_{AC} \cdot (\Psi_{AC} - \Psi_A)}{A_C} \quad (gs^{-1}m^{-2}) \quad [11]$$

Na qual: F_{AC} é o fluxo de ar que passa pela cápsula (m^3s^{-1}) e A_C é a área da cápsula (m^2), enquanto a umidade absoluta foi dada por:

$$\Psi_A = \frac{2166,87 \cdot P_{v\{t_A\}}}{t_A + 273,15} \quad (gm^{-3}) \quad [12]$$

$$\Psi_{AC} = \frac{2166,87 \cdot P_{v\{t_{AC}\}}}{t_{AC} + 273,15} \quad (gm^{-3}) \quad [13]$$

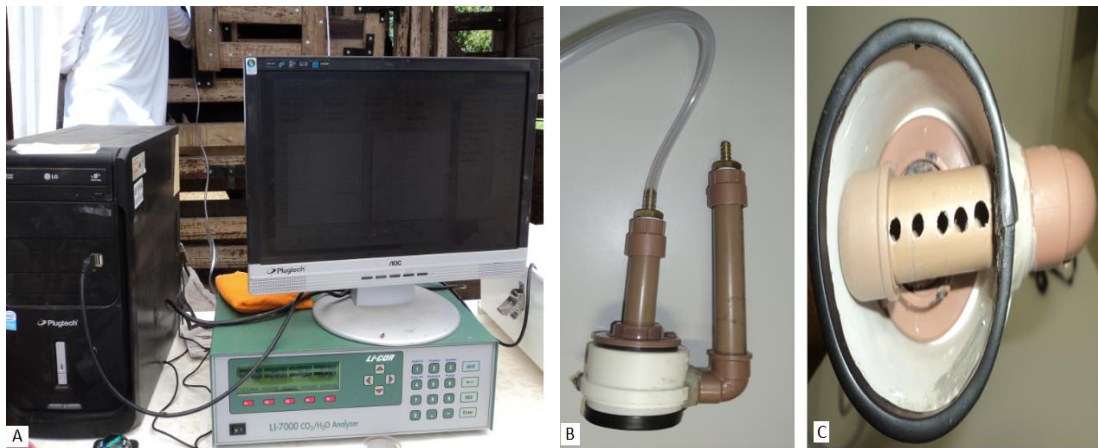


Figura 6: (A) Analisador de CO_2/H_2O . (B) Cápsula ventilada, desenvolvida por Maia et al. (2005). Confeccionada a partir de um cano plástico de 9,6cm diâmetro e 6,78cm comprimento, com tubo de entrada de ar da atmosfera, tubo de saída de ar ligada ao analisador de CO_2/H_2O . (C) cápsula vista de dentro, contendo furos para melhor homogeneização do ar.

A temperatura (t_{AC} , °C) do ar passando no interior do calorímetro sobre a área de teste foi mensurada com termômetro digital conectado a um sensor de temperatura, termorresistência tipo K, inserido no tubo de saída da cápsula, enquanto o fluxo de ar (F_{AC}) através da cápsula foi mantido através da bomba a vácuo do próprio analisador de CO_2/H_2O .

4.4.5 Perda de calor por evaporação respiratória (E_R , Wm^{-2})

A evaporação respiratória foi calculada conforme a seguinte equação (SILVA et al., 2012):

$$E_R = \frac{\rho \cdot C_p \cdot (P_{S\{T_{EXP}\}} - P_V)}{r_{VR} \cdot P_a \cdot \gamma} \quad (Wm^{-2}) \quad [14]$$

Na qual: ρ é a densidade do ar atmosférico (gm^{-3});

C_p é o calor específico do ar ($Jg^{-1}C^{-1}$);

P_a é a pressão atmosférica (kPa);

γ é constante psicrométrica (K^{-1});

$P_{S\{T_{EXP}\}}$ é a pressão de saturação do ar expirado (kPa):

$$P_{S\{T_{EXP}\}} = 0,61078 \times 10^{7,5 T_{EXP}/(T_{EXP}+237,5)} \quad (kPa) \quad [15]$$

onde: T_{EXP} é a temperatura do ar expirado ($^{\circ}C$), avaliada através de uma cápsula confeccionada para esse fim (Figura 7), com um termômetro digital e sensor tipo K. r_{VR} é a resistência à vaporização da água no sistema respiratório, estimada pela equação:

$$r_{VR} = 2.853,921 - 48,445 F_R + 0,3414 F_R^2 - 2,037 t_A \quad (sm^{-1}) \quad [16]$$

Equação determinada por Silva e Maia (2013) apresentando coeficiente de determinação $R^2=0,86$ e onde F_R é a frequência respiratória (mov/min) e t_A é a temperatura do ar ($^{\circ}C$).

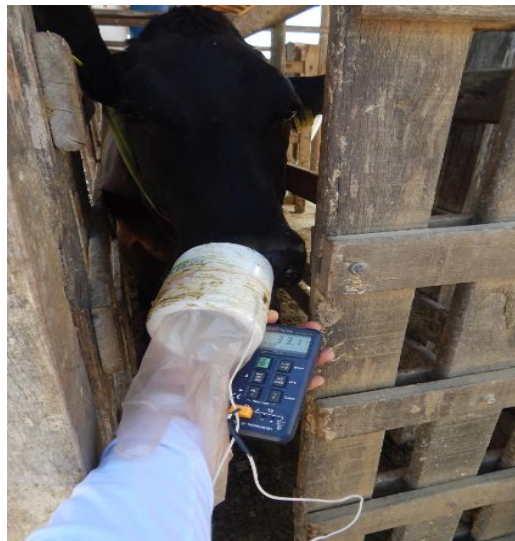


Figura 7: Cápsula para medir a temperatura do ar expirado, contendo um tubo plástico, saco de polietileno e termômetro digital com termorresistência tipo K.

4.5 PRODUÇÃO DE LEITE

Nos dias de coleta dos dados fisiológicos, foram registradas as produções: manhã (M), tarde (T), total e a diferença entre manhã e tarde (ΔP) daquelas vacas analisadas.

Para avaliação da perda leiteira diária foi realizado um cálculo onde consideraria a produção total (provável) como sendo duas vezes da produção da manhã, e assim realizada a porcentagem da produção real (manhã + tarde) sobre a provável, a diferença entre 100% e a porcentagem obtida seria a perda leiteira diária por vaca.

Foram resgatados os dados de produção leiteira registrados pela propriedade a cada 25 dias, aproximadamente, com produções da manhã, da tarde e total, com intervalo de 12h entre as ordenhas, a primeira as 2h da manhã e a segunda 14h da tarde, gravados em programa de gerenciamento de fazenda (PRODAP). Estes dados se referem a avaliações das 302 vacas durante dois anos, tendo sido verificadas as variáveis fisiológicas, totalizando 27 dias de produções observadas e aproximadamente 3.000 dados de produção.

4.6 ÍNDICE DE ESTRESSE TÉRMICO PARA VACAS (ITSC)

O ITSC, proposto por Silva et al. (2014) é o índice de estresse térmico para vacas sob alta radiação solar em ambiente tropical. Proposto com base em dados ambientais e fisiológicos de vacas, registrados em regiões próximas a linha do equador, com o objetivo de ser uma ferramenta para implementar melhores práticas de gestão em ambiente quente e com altos índices de radiação solar.

É calculado como segue:

$$\text{ITSC} = 77,1747 + 4,8327t_A - 34,8189U + 1,111U^2 + 118,6981P_v - 14,7956P_v^2 - 0,1059\text{ERHL}$$

Onde: t_A = temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$); U = velocidade do vento (ms^{-1}); P_v = Pressão parcial de vapor (kPa); ERHL = carga térmica de radiação efetiva (Wm^{-2}).

$$\text{ERHL} = 0,5R + \sigma T_{RM}^4 \quad (\text{Wm}^{-2})$$

Cinco faixas para aplicação do ITSC são sugeridas:

Tabela 2: Classificação de estresse térmico segundo ITSC.

ITSC	CLASSIFICAÇÃO
≤ 150	Conforto
151-200	Moderado desconforto
201-250	Desconforto
251-350	Estresse
≥ 350	Situação de alarme

4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foram realizadas correlações entre as variáveis fisiológicas; das variáveis fisiológicas com as variáveis meteorológicas; das produções observadas com os dados meteorológicos diários, dos dias de pesagem leiteira e os quatro dias que antecederam as pesagens; das variáveis fisiológicas com as produções observadas nas diferentes classificações de estresse.

Os dados obtidos foram analisados pelo método dos quadrados mínimos para dados não balanceados. Para a análise da influência das variáveis meteorológicas sobre as variáveis fisiológicas, frequência respiratória, temperatura retal, evaporação cutânea e evaporação respiratória foi utilizado o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \alpha + b_1 T_A + b_2 UR + b_3 R + b_4 T_{RM} + \varepsilon_i \quad [18]$$

Na qual, Y_{ij} é o estimador das variáveis fisiológicas, onde α é o intercepto; b_1 , b_2 , b_3 e b_4 são os coeficientes de regressão parcial sobre a temperatura do ar, umidade relativa, radiação de ondas curtas e temperatura radiante média, respectivamente; e ε_i é o efeito residual.

Para a análise da influência das variáveis ambientais sobre a produção de leite, ΔP (diferença entre as ordenhas manhã e tarde) e % perdas Leiteiras diárias, produção nos turnos da manhã e da tarde foi utilizado o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \alpha + b_1 RG + b_2 T_{max} + b_3 T_{min} + b_4 \Delta T + \varepsilon_i \quad [19]$$

Na qual, Y_{ij} é o estimador das variáveis relacionadas a produção, onde α é o intercepto; b_1 , b_2 , b_3 e b_4 são os coeficientes de regressão parcial sobre a radiação global, temperatura máxima diária, temperatura mínima diária e amplitude diária de temperatura, respectivamente; e ε_i é o efeito residual.

Para a análise da influência das variáveis fisiológicas sobre a produção de leite, ΔP (diferença entre as ordenhas manhã e tarde) e % da produção da tarde sobre a produção da manhã, foi utilizado o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \alpha + b_1 FR + b_2 T_R + b_3 E_R + b_5 E_S + \varepsilon_i \quad [20]$$

onde, Y_{ij} é o estimador das variáveis de produção, α é o intercepto; b_1 , b_2 , b_3 , e b_4 são os coeficientes de regressão parcial sobre a frequência respiratória, temperatura retal, evaporação respiratória e evaporação na superfície cutânea, respectivamente; e ε_i é o efeito residual.

5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DADOS DO AMBIENTE

As condições meteorológicas em que as vacas foram avaliadas estão dispostas na Tabela 3. Na Tabela 4 estão as médias de radiação global, temperaturas máximas e mínimas dos dias de coleta e dos 4 dias que antecederam o registro da produção leiteira.

Tabela 3: Valores mínimos, máximos, média e erro padrão da média das variáveis ambientais temperatura do ar (t_A), umidade relativa (UR), temperaturas do globo à sombra (T_G sombra) e ao sol (T_G sol), Radiação (R) e as temperaturas radiante média à sombra (T_{RM} sombra) e ao sol (T_{RM} sol).

	Média	Erro padrão	Mínima	Máxima
t_A (°C)	31,8	2,4	26,3	38,3
UR (%)	42,45	7,3	29,8	58,1
T_G sombra (°C)	35,7	2,7	28,6	44,3
T_G sol (°C)	42,1	4,7	30,8	59,4
R (Wm^{-2})	765	229	159	1166,1
T_{RM} sombra (°C)	43,8	4,5	24,6	59,8
T_{RM} sol (°C)	60,7	8,4	40,5	85,1

Tabela 4: Média da radiação global, temperaturas mínimas e máximas do dia de coleta (0) e dos 4 dias que antecederam a verificação da produção diária.

Dia	4	3	2	1	0
Tmax (°C)	33,36	34,13	33,74	33,92	33,13
Tmin (°C)	21,69	21,73	21,64	21,57	22,18
Radiação ($MJ \cdot m^{-2} \cdot dia^{-1}$)	20,41	20,81	20,87	20,50	19,51

As condições ambientais observadas estão de acordo com aquelas trabalhadas por Oliveira et al. (2014), com observação dos níveis de tolerância de radiação por vacas da raça Holandesa, registrando as seguintes médias, mínimas e máximas: temperatura do ar (33,3; 24,0 e 39,0°C, respectivamente), umidade relativa (58,4; 41,5 e 96,0%, respectivamente) e radiação solar de ondas curtas (584,0, média e 1074,0 Wm^{-2} , máxima). Silva (2014), observou a variação da produção de leite de vacas Holandesas em função das variáveis meteorológicas e observou as seguintes médias, mínimas e máximas: temperatura do ar (28,0; 18,0 e 38,0°C, respectivamente) e umidade relativa (58,0; 27,0 e 97,0%, respectivamente). Oliveira (2013) trabalhando com desenvolvimento de bezerros à sombra e ao sol em ambiente semiárido

observou as seguintes médias, mínimas e máximas: temperatura radiante média ao sol (56,8; 29,0 e 104,4°C, respectivamente) e à sombra (34,4; 11,8 e 45,0°C, respectivamente).

5.2 VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS

As médias das variáveis observadas estão dispostas na Tabela 5, bem como o erro padrão e os valores máximos e mínimos.

Tabela 5: Valores mínimos, máximos, média e erro padrão da média das variáveis fisiológicas, temperatura retal (T_R , °C), frequência respiratória (FR, mov.min⁻¹), temperaturas das superfícies negra (TSN, °C) e branca (TSB, °C) e perdas evaporativas através da respiração (E_R , Wm⁻²) e da superfície cutânea (E_S , Wm⁻²).

	Média	Erro padrão	Mínima	Máxima
T_R	39,3	0,54	38,0	41,5
FR	60,6	18,2	28	136
TSN	40,0	2,73	32,8	50,4
TSB	36,9	2,01	31,5	42,4
E_R	47,86	12,15	21,7	80,5
E_S	120,8	35,61	22,9	229,7

A variação da temperatura foi semelhante aos dados reportados por Silva et al. (2014), que avaliaram vacas leiteiras em 10 localidades em regiões de baixas latitudes e observou temperaturas médias que variaram entre 38,4 e 40,6°C. Porém, foram diferentes dos resultados publicados por Pereira et al. (2008) na zona da mata mineira, região de altas latitudes, onde a variação foi entre 38,5 e 39,1°C, houve uma pequena diferença na amplitude, devido à baixa temperatura do ar na qual o trabalho foi realizado.

A frequência respiratória média, mínima e máxima também estão dentro da variação encontrada por Silva et al. (2014), onde os resultados médios variaram entre 25 e 108 mov/min. Ferreira et al. (2006) trabalharam com vacas Holandesas e compararam as variáveis fisiológicas destas nos períodos de inverno e verão, onde valores semelhantes foram observados no verão com frequência respiratória de até 137 mov/min. Segundo Baccari Jr (2001) bovinos aumentam a frequência respiratória, como mecanismo adicional da perda de calor por evaporação cutânea, mecanismo de defesa contra a hipertermia.

Na Tabela 6 estão as correlações das variáveis fisiológicas, onde pode-se observar que a temperatura retal apresentou correlação significativas (1%) com todas as variáveis fisiológicas. Assim, os dados de temperatura retal foram apresentados em gráficos em função

do peso, das temperaturas de superfície e das perdas de calor através da respiração e da superfície cutânea (Figuras 8, 9 e 11).

Tabela 6: Coeficientes de correlação entre as variáveis fisiológicas: Peso, Temperatura retal (T_R), Temperatura da superfície do pelame na malha negra (TSN), Temperatura da superfície do pelame na malha branca (TSB), Frequência respiratória (FR), Perda de calor por evaporação respiratória (E_R), Perda de calor por evaporação na superfície cutânea (E_S).

	PESO	T_R	TSN	TSB	FR	E_R	E_S
PESO	●	-0,193**	0,029	-0,054	-0,043	0,019	0,068
T_R		●	0,334**	0,460**	0,581**	0,507**	0,303**
TSN			●	0,650**	0,394**	0,447**	0,315**
TSB				●	0,509**	0,558**	0,333**
FR					●	0,600**	0,361**
E_R						●	0,618**
E_S							●

* Significância estatística ($P < 0,05$); ** ($P < 0,01$)

Pode-se observar na Figura 8 a relação inversa da temperatura retal com o peso dos animais, fato que pode ser explicado pela equação da Quantidade de calor, onde a quantidade de energia necessária para se elevar a temperatura de um corpo é proporcional à massa desse corpo, portanto corpos com massa maior terão menor variação de temperatura quando submetidos à mesma influência do ambiente.

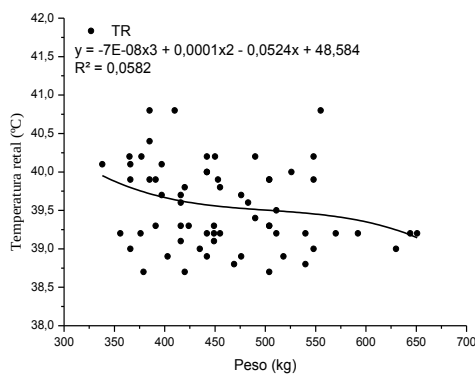


Figura 8: Dispersão da temperatura retal em função do peso das vacas.

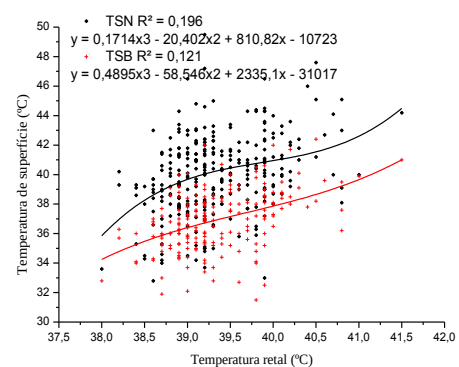


Figura 9: Dispersão das temperaturas de superfície preta e branca em função da temperatura retal.

Já na relação da temperatura retal com a as temperaturas de superfície (Figura 9) observa-se a correlação positiva e diferença de 3,1°C entre as regiões de pelo branco e pelo negro, Silva (1999), reporta que Gebremedhin (1997) concorda em não existir relação simples

entre coloração do pelame e ganho de energia radiante, mas da interação entre a radiação oriunda do meio, temperatura do ar e temperatura interna do animal. Pelame escuro adquire maior ou menor quantidade de calor, dependendo de um conjunto complexo de propriedades do organismo e do ambiente. A diferença ocorre, segundo Silva e Maia (2013), pois a absorptância (α) do pelame negro em vacas Holandesas é de 0,93 e para o pelame despigmentado é de 0,43 para a amplitude de comprimentos de onda de 0,3 a 0,85 μm .

A proporção de preto na pelagem dos animais foi observada conforme a Tabela 7.

Tabela 7: Porcentagem de animais com suas respectivas porcentagens de pelame negro.

% de animais	% de pelame negro
2	< 10
4	10 – 30
6	30 – 50
6	50 – 70
12	70 – 90
70	> 90

De acordo com Silva (1999), animais predominantemente negros são melhor protegidos contra a radiação de ondas curtas que os predominantemente brancos, particularmente aqueles com capa de pelame mais finas (4 a 7 mm), os quais são mais adequados a um ambiente tropical.

Quanto às perdas de calor por evaporação na superfície cutânea e através da respiração houve correlação com a temperatura retal. Na Figura 10 o aumento de uma variável está associado a outra ou as duas sofrem a influência do mesmo fator, e no presente trabalho a perda média por evaporação na superfície cutânea foi $120,8 \pm 35,6 \text{ Wm}^{-2}$, com mínima 22,9 e máxima $229,7 \text{ Wm}^{-2}$.

Os resultados estão de acordo com Silva e Maia (2011) onde avaliaram as perdas evaporativas nas superfícies branca e negra, de vacas Holandesas, e os valores variaram entre 3 e 384 Wm^{-2} . Segundo os mesmos autores a temperatura da superfície da pele é uma boa variável para determinar a taxa de evaporação cutânea de vacas da raça Holandesa em um ambiente tropical, a taxa de evaporação cutânea é relacionada exponencialmente com a temperatura da pele que tem uma relação com a quantidade de calor recebida do ambiente e sua temperatura corporal.

A perda de calor por evaporação respiratória média no presente trabalho foi $47,86 \pm 12,15 \text{ Wm}^{-2}$, com variação entre 21,7 e $80,5 \text{ Wm}^{-2}$. A média observada foi próxima às apresentadas por Silva et al. (2012) onde a perda de calor por evaporação respiratória média na região semiárida foi $44,0 \text{ Wm}^{-2}$ e superiores aos resultados apresentados para a região

subtropical $30,2 \text{ Wm}^{-2}$. Ainda no presente trabalho foi observado que a evaporação na superfície cutânea contribuiu com 59,7% da perda total de calor latente e 40,3% de responsabilidade da evaporação respiratória, valor superior aos contabilizados por Maia et al. (2005), onde: $E_S = 85\%$ e $E_R = 15\%$, por Silva et al. (2012) na região subtropical: $E_S = 73,8\%$ e $E_R = 26,2\%$ e na região semiárida: $E_S = 72,7\%$ e $E_R = 27,3\%$.

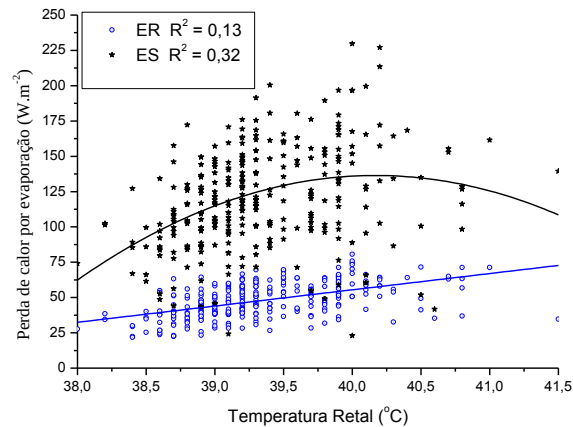


Figura 10: Perdas de calor por evaporação cutânea (ES) e respiratória (ER) em função da temperatura retal.

5.3 RELAÇÃO FISIOLÓGICOS X AMBIENTE

Houve correlação significativa entre as variáveis fisiológicas e ambientais, demonstrando a influência do ambiente sobre as variáveis fisiológicas de vacas mestiças da raça Holandesa (Tabela 8).

Tabela 8: Coeficientes de correlação entre as variáveis fisiológicas: temperatura retal (T_R), temperatura da superfície do pelame na malha negra (TSN), temperatura da superfície do pelame na malha branca (TSB), frequência respiratória (FR), perda de calor por evaporação respiratória (E_R) e perda de calor por evaporação na superfície cutânea (E_S) e as variáveis meteorológicas: temperatura do ar (t_A); umidade relativa (UR); radiação de ondas curtas (R); temperatura radiante média ao sol ($T_{RM \text{ sol}}$) e pressão parcial de vapor (P_V).

	t_A	P_V	UR	R	$T_{RM \text{ sol}}$
T_R	0,580**	-0,16**	-0,479**	0,344**	0,214**
TSN	0,488**	-0,19**	-0,458**	0,608**	0,392**
TSB	0,623**	-0,15**	-0,527**	0,542**	0,321**
FR	0,555**	-0,12**	-0,434**	0,409**	0,271**
E_R	0,727**	-0,47**	-0,693**	0,460**	0,227**
E_S	0,603**	-0,39**	-0,588**	0,425**	0,320**

* Significância estatística ($P < 0,05$); ** ($P < 0,01$)

Pode-se observar na análise de variância (Tabela 9) que a temperatura e umidade relativa do ar e T_{RM} apresentaram influência sobre todas as variáveis fisiológicas. A radiação solar direta apresentou influência apenas sobre as temperaturas de superfície negra e branca e frequência respiratória, o que pode ser explicado devido aos dias em que o céu estava parcialmente nublado e a presença das nuvens bloqueava a radiação no momento da coleta dos dados, fazendo com que a cada momento houvesse uma variação da radiação o que não ocorria em respostas tardias como acontece com a temperatura retal, perda de calor por evaporação cutânea e respiratória.

Tabela 9: Quadrados médios das análises da variância das regressões das variáveis ambientais sobre as variáveis fisiológicas.

F.V.	G.L.	TSB.	TSN	E_S	E_R	FR	T_R
t_A	1	2013,1**	942**	3418462**	205409**	611597**	377,5**
UR	1	1792,2**	1172**	7742397**	525560**	347568**	409**
R	1	41,2**	277,4**	1026	0,53	1109*	0,04
T_{RM}	1	42,7**	161,1**	1264765**	3045**	22293**	12,2**
Resíduo	272	2,036	4,043	816,7	75,21	261,87	0,13

* Significância estatística ($P < 0,05$); ** ($P < 0,01$)

Na Figura 11 está apresentado o gráfico da temperatura do ar e da frequência respiratória em função da temperatura retal, pode-se observar a influência direta da temperatura do ar sobre estas variáveis, com o aumento da temperatura do ar ocorre o aumento da temperatura retal ($R^2 = 0,35$) e aumento da frequência respiratória. A temperatura do ar foi o fator mais influente sobre a temperatura retal, estes resultados estão em conflito com os apresentados de Pocay et al. (2001), que trabalharam com vacas holandesas predominantemente branca e predominantemente negra, expostas a radiação solar direta, onde temperatura retal mostrou-se mais correlacionada com a radiação solar ($r = 0,277$) do que com a temperatura do ar ($r = 0,167$). Maia et al. (2005), apresentou o coeficiente de determinação da temperatura retal sobre a temperatura do ar 0,08, com variação da temperatura retal 38,0 a 40,4°C. Quanto ao aumento da frequência respiratória em função da temperatura do ar ($R^2 = 0,32$) os dados apresentados estão de acordo com Pocay et al. (2001) onde a frequência respiratória apresentou correlação positiva com a temperatura do ar ($r = 0,283$), indicando ter sido o mecanismo respiratório bastante importante para a termólise dos animais nas condições em que os mesmos foram observados.

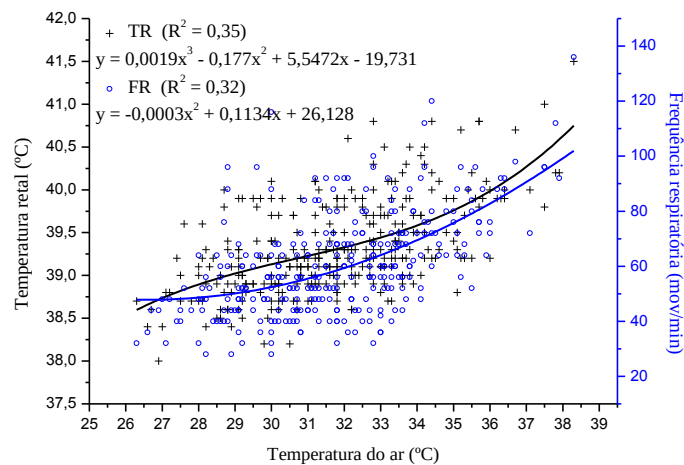


Figura 11: Dispersão da temperatura retal e da frequência respiratória em função da temperatura do ar.

Na Figura 12 temos a apresentação da temperatura de superfície negra ($R^2 = 0,41$) e branca ($R^2 = 0,38$) em função da radiação solar de ondas curtas, variável ambiental que mais influenciou estas temperaturas. Os resultados estão de acordo com Pocay et al. (2001) demonstrando que elevados níveis de temperatura, assim como a intensa radiação solar, são elementos meteorológicos estressantes que influenciam diretamente as características fisiológicas dos animais, e a menor relação com a malha branca deve-se a menor capacidade de absorção da cor branca para radiação.

Quanto as perdas de calor por evaporação houve crescimento exponencial tanto na respiratória quanto na superficial ($R^2 = 0,36$) em função da temperatura do ar (Figura 13). Essa variação também foi observada por Maia et al. (2008), onde as perdas evaporativas aumentaram linearmente com a temperatura do ar até os 27°C e depois esse crescimento foi mais intenso, o mesmo foi observado por Finch (1985) e Kibler e Brody (1954). Isso pode acontecer devido a queda na diferença entre a temperatura de superfície e a temperatura do ar, diminuindo o gradiente térmico e fazendo com que as perdas convectivas se tornem cada vez menores, bem como o fluxo de radiação que passa a ser no sentido do animal, assim o aumento na perda de calor por evaporação respiratória torna-se mais importante. A elevação da frequência respiratória objetivou a dissipação do excesso de calor corporal por evaporação respiratória, para tentar manter a termorregulação, pode-se observar o crescimento da perda de calor por evaporação na superfície respiratória em função da temperatura do ar (Figura 13, $R^2 = 0,52$). Maia et al. (2008) observaram essa mesma variação, porém com um coeficiente de determinação de 0,93.

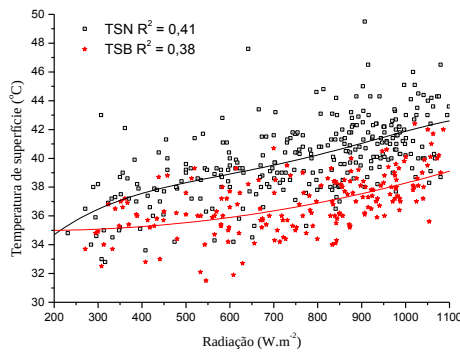


Figura 12: Variação das temperaturas de superfície branca (TSB) e negra (TSN) em função da radiação solar de ondas curtas.

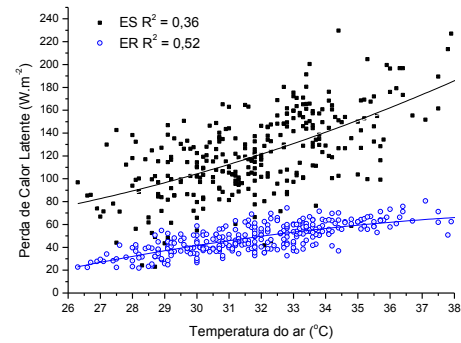


Figura 13: Perdas de calor por evaporação respiratória (ER) e na superfície cutânea (ES) em função da temperatura do ar.

5.4 RELAÇÃO PRODUÇÃO X FISIOLÓGICOS X AMBIENTE CLIMÁTICO

A produção leiteira média das vacas do experimento foi de $10,8 \pm 4,19$ L/vaca/dia, com mínimo de 1 e máximo de 25 L/vaca/dia; pela manhã (M) a média foi $6,78 \pm 2,3$, mínimo de 1 e máximo de 15 Litros/vaca; e à tarde (T) a média $4,02 \pm 2,02$, mínimo de 0 e máximo 12 L/vaca; quanto a amplitude ΔP (M-T) a média foi de $2,75 \pm 1,45$ L/vaca/dia, mínimo de -1 e máximo de 7 L/vaca/dia. As correlações das variáveis ambientais (temperatura máxima, temperatura mínima, radiação global e amplitude de temperatura) dos dias que antecedem a coleta de dados de produção leiteira (M, T, total e ΔP) foram realizadas e estão dispostas na Tabela 10.

Tabela 10: Correlações das produções da manhã (M), tarde (T), total e diferença entre manhã e tarde (ΔP) com as variáveis ambientais do dia de registro da produção (0) e os 4 dias que antecederam a pesagem do leite.

	Temperatura máxima				
	4	3	2	1	0
M	0,036	0,024	0,161**	0,213**	
T	-0,067**	-0,098**	-0,074**	0,005	-0,123**
TOTAL	0,011	-0,043*	0,053*	0,114**	0,044*
ΔP	0,116**	0,147**	0,345**	0,316**	0,479**
	Radiação				
	4	3	2	1	0
M	0,143**	0,013	0,090**	0,163**	
T	0,082**	-0,047**	-0,070**	-0,029	-0,008
TOTAL	0,120**	-0,017	0,015	0,077**	0,106**
ΔP	0,109**	0,086**	0,239**	0,297**	0,320**

Tabela 10 (continuação): Correlações das produções da manhã (M), tarde (T), total e diferença entre manhã e tarde (ΔP) com as variáveis ambientais do dia de registro da produção (0) e os 4 dias que antecederam a pesagem do leite.

Temperatura Mínima					
	4	3	2	1	0
M	-0,203**	0,142**	0,146**	0,054**	0,208**
T	-0,120**	0,096**	0,268**	0,119**	0,322**
TOTAL	-0,189**	0,133**	0,214**	0,107**	0,277**
ΔP	-0,153**	0,068**	-0,147**	-0,088**	-0,124**
Amplitude de temperatura (máxima - mínima)					
	4	3	2	1	0
M	0,095**	0,000	0,059**	0,139**	
T	-0,011	-0,054**	-0,162**	-0,049**	-0,235**
TOTAL	0,047**	-0,027	-0,048*	0,055	-0,079**
ΔP	0,163**	0,074**	0,316**	0,285**	0,428**

* Significância estatística ($P < 0,05$); ** ($P < 0,01$)

Pode-se observar que a produção da manhã é influenciada tanto pela temperatura mínima do dia de coleta de dados, quanto pela temperatura máxima do dia anterior ao dia de registro de produção. Essa resposta está em concordância com Damaceno et al. (1998), que observaram que as condições ambientais no período noturno não permitiram aos animais a dissipação total do excesso de calor adquirido nas horas mais quentes do dia, resultando em temperaturas retais na manhã seguinte superiores às consideradas normais, o que resulta em interferência na produção leiteira.

Quanto a produção da tarde observa-se a influência direta da temperatura mínima, e correlação negativa com a temperatura máxima do dia de registro, bem como a amplitude de temperatura. Essas correlações demonstram a influência desses parâmetros na produção da tarde, onde quanto maior a temperatura máxima menor a produção na ordenha da tarde, bem como quanto maior a variação da temperatura durante o dia menor a produção leiteira da tarde. Esse efeito pode ser minimizado com o uso de sombreamento adequado ou sistemas de resfriamento evaporativos como os utilizados por Barbosa et al. (2004) e Damaceno et al. (1998), onde os efeitos sobre as variáveis fisiológicas foram minimizados e a produção de leite aumentou em até 8,1%.

Quanto a produção diária total houveram correlações significativas apenas com a temperatura mínima do dia e com a radiação, porém esse parâmetro não pode ser utilizado para fins de comparação com os dados fisiológicos do dia de coleta, pois a produção total é a soma das produções da manhã e tarde, onde a temperatura máxima do dia anterior apresenta

influência neste parâmetro e impossibilita a comparação apenas das variáveis observadas em apenas um dia. Segundo Calegari et al. (2005), a maior redução da produção de leite está mais relacionada com o aumento da temperatura mínima diária do que com a temperatura máxima diária, pois o aumento da temperatura mínima reduz a possibilidade das vacas eliminarem durante a noite e início da manhã o calor armazenado durante o dia.

A diferença de produção entre as ordenhas da manhã e tarde (ΔP) foi o dado que apresentou correlação positiva mais significativa com os dados do dia de registro de produção, apresentou correlação negativa com a temperatura mínima do dia, ou seja, quanto menor a temperatura mínima maior a produção da manhã comparada com a produção da tarde, desta forma maior ΔP . Assim como, quanto maiores as temperatura máxima (Figura 14), radiação e amplitude de temperatura (Figura 15) do dia de coleta, menor foram as produções da tarde em comparação com a produção da manhã, consequentemente maior ΔP .

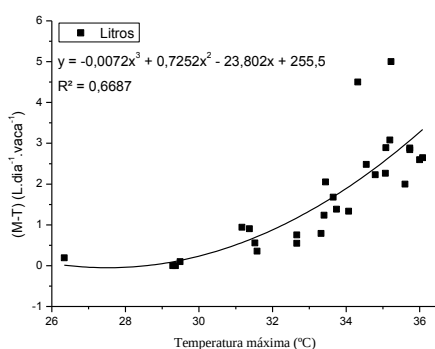


Figura 14: Dispersão da ΔP em função do aumento da temperatura máxima.

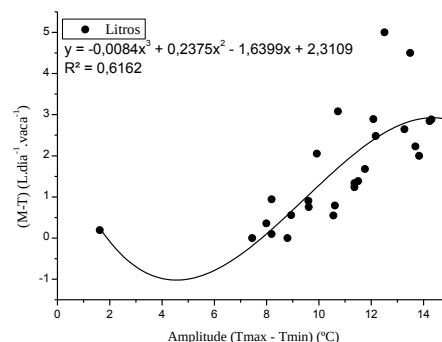


Figura 15: Dispersão da ΔP em função da amplitude de temperatura diária.

Desta forma foi realizada a análise de regressão múltipla das médias de ΔP durante os 27 dias de registro de produção leiteira, bem como na estimativa de perda leiteira/dia/vaca, com os dados de temperatura máxima, mínima, radiação global e ΔT , os valores dos quadrados médios estão dispostos na Tabela 11 de análise de variância da regressão.

Tabela 11: Quadrados médios das análises da variância das regressões das variáveis ambientais (Radiação, $T_{\text{máx}}$, ΔT e $T_{\text{mín}}$) sobre as variáveis de produção (ΔP e % perdas Leiteiras diárias).

F.V.	g.l.	ΔP	% perdas Leiteiras diárias
Radiação	1	3854,919	35124041**
$T_{\text{máx}}$	1	268434,073**	2291261447**
ΔT	1	41652,783**	343305839**
$T_{\text{mín}}$	1	42032,312**	346603351**
Resíduo	23	1777,622	2821605,170

* Significância estatística ($P < 0,05$); ** ($P < 0,01$)

A perda leiteira média dos dias de registro foi de $1,72 \pm 1,28$ litros/vaca/dia, com mínimo de 0 e máximo de 5,0 litros/vaca/dia, o que representa uma perda média de 9,31% e máximo de 21,28%, a variação da perda leiteira está disposta na Figura 17, em função da temperatura máxima diária e na Figura 16, em função da amplitude de temperatura ocorrida durante o dia.

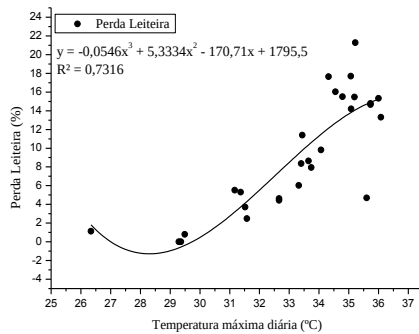


Figura 16: Dispersão da perda leiteira/dia (%) em função do aumento da temperatura máxima.

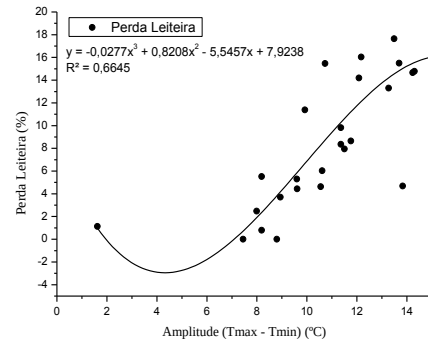


Figura 17: Dispersão da perda leiteira/dia (%) em função do aumento da amplitude de temperatura diária.

O índice de estresse térmico para vacas (ITSC) foi calculado, sendo que das cinco classificações de ITSC, quatro foram observadas durante o experimento, conforto (31 animais, 10,5%); desconforto moderado (95 animais, 32,5%); desconforto (102 animais, 34,6%) e estresse (66 animais, 22,4%), para cada classificação de ITSC foi realizada correlações dos dados fisiológicos (Frequência respiratória, temperatura retal, perda de calor por evaporação respiratória e perda de calor por evaporação na superfície cutânea) com a produção da tarde, a diferença entre a produção da manhã pela produção da tarde (ΔP) e a proporção da produção da tarde em função da manhã (Tabela 12).

Tabela 12: Correlações das produções da tarde (T), diferença entre manhã e tarde (ΔP) e porcentagem da produção da tarde sobre a manhã com as variáveis ambientais T_R , FR, E_R e E_S , para as quatro classificações de ITSC observadas durante o experimento.

ITSC conforto				
	T retal	FR	E_R	E_S total
T	-0,244	-0,084	-0,180	0,101
Δ (M-T)	0,088	0,256	0,233	0,164
% (T / M)	-0,150	-0,335	-0,364*	-0,160
ITSC desconforto moderado				
	T retal	FR	E_R	E_S total
T	0,043	-0,146	-0,120	-0,091
Δ (M-T)	0,203*	0,417**	0,258**	0,156
% (T / M)	-0,087	-0,275**	-0,190	-0,139
ITSC desconforto				
	T retal	FR	E_R	E_S total
T	0,0334	-0,1029	-0,1428	-0,1157
Δ (M-T)	0,480**	0,533**	0,656**	0,601**
% (T / M)	-0,256**	-0,380**	-0,519**	-0,442**
ITSC estresse				
	T retal	FR	E_R	E_S total
T	-0,0603	-0,0486	-0,356**	-0,119
Δ (M-T)	0,390**	0,355**	0,736**	0,374**
% (T / M)	-0,287*	-0,262*	-0,744**	-0,337**

* Significância estatística ($P < 0,05$); ** ($P < 0,01$)

Em conforto as relações entre as variáveis fisiológicas e as produções leiteiras não apresentam correlações, isso se deve ao fato de que nessa condição temos as vacas com suas respostas fisiológicas controladas e em variadas condições de produção, tais quais, vacas que produzem uma quantidade bem maior de leite durante o período da manhã e pouco leite durante à tarde e vacas que apresentam equilíbrio de produção, com produções semelhantes nas ordenhas da manhã e tarde. Porém, quando esses animais entram em desconforto moderado as correlações entre as variáveis temperatura retal, frequência respiratória e evaporação respiratória, com a diferença entre as produções da manhã e tarde (ΔP), tornam-se significativas.

As vacas avaliadas em desconforto térmico e estresse apresentam fortes correlações, entre as variáveis fisiológicas (T_R , FR, E_S e E_R) com a amplitude de produção (ΔP), bem como correlação negativa com a relação entre a produção da tarde sobre a produção da manhã. Nesse caso os animais estão em condições ambientais desfavoráveis e os animais que apresentam

maiores temperatura retal, frequência respiratória, perda de calor por evaporação cutânea e perda de calor por evaporação respiratória, são aqueles que apresentam maiores produções na manhã e sofrem maiores decréscimo na produção da tarde, provocando grande amplitude entre as produções da manhã e da tarde. Os resultados estão de acordo com Zimbelman et al. (2006), onde em estresse as vacas apresentaram aumento da perda de calor por evaporação superficial à medida que a temperatura retal aumenta, nessas condições o aumento da temperatura retal e perda de calor por evaporação provocou decréscimo na produção de leite. Esta diminuição na produção de leite foi observada tanto com os animais em estresse, como naqueles que estavam sob índice próximo ao estresse. Martello et al (2004) demonstraram que quando as vacas Holandesas são protegidas da radiação solar direta apresentam queda nas variáveis fisiológicas temperatura retal e frequência respiratória e consequente aumento de 8,5% na produção de leite.

Aqueles animais que apresentam um maior controle das variáveis fisiológicas, onde mesmo em situação de estresse não apresentam grandes variações nessas variáveis, são aqueles que apresentam maior equilíbrio entre as produções da manhã e da tarde, sugerindo que estes animais não aumentam seu metabolismo durante os horários de temperaturas amenas e com manutenção deste durante os horários de estresse ambiental.

Na análise de variância da regressão múltipla das variáveis fisiológicas (E_R , E_S , T_R e FR) sobre a ΔP e a porcentagem da produção da tarde sobre a manhã, daqueles animais que estavam sob classificação de estresse, segundo ITSC, a evaporação respiratória apresentou maior influência sobre a ΔP (Figura 18) e sobre a porcentagem da produção da tarde sobre a manhã, demonstrando ser um parâmetro confiável para a determinação ΔP e das perdas leiteira diárias de vacas em estresse térmico. A relação da evaporação de superfície com ΔP está apresentada na Figura 19.

Tabela 13: Quadrados médios das análises da variância das regressões das variáveis fisiológicas (T_R , FR , E_R e E_S) sobre as variáveis de produção (ΔP) e (%T/M).

Fonte de variação	g.l.	ΔP .	%(T/M)
T_R	1	0,58	199,00
FR	1	0,70	0,03
E_R	1	81,04**	163359**
E_S	1	0,05	4,40
Resíduo	61	0,808	115,37

* Significância estatística ($P < 0,05$); **($P < 0,01$)

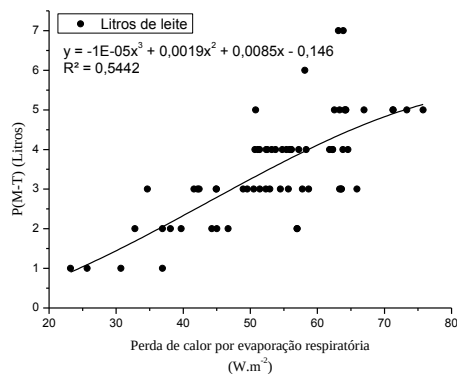


Figura 18: Dispersão de ΔP sobre a perda de calor por evaporação respiratória.

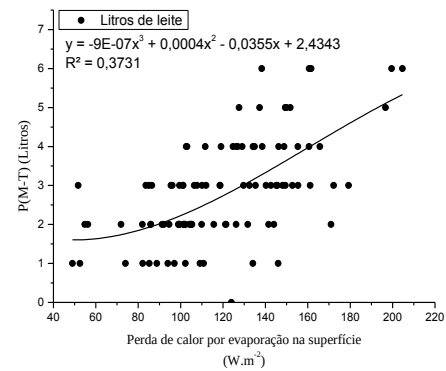


Figura 19: Dispersão de ΔP sobre a perda de calor por evaporação de superfície.

As vacas mestiças Holandês x Zebu criadas em região de baixa latitude apresentam diferença entre a produção de leite no turno da manhã quando comparadas ao turno da tarde, essa diferença é evidenciada quanto maior for a temperatura máxima e maior a amplitude de temperatura do ar diária.

As respostas fisiológicas das vacas leiteiras **sob estresse** são variadas e apresentam correlações significativas com a produção leiteira, animais que não apresentam grandes variações nas respostas fisiológicas apresentam menores diferenças na produção leiteira (M – T), assemelhando-se aos animais de origem zebuínas (Figura 1) que apresentam pouca variação de metabolismo em função da variação de temperatura. Vacas que apresentam grandes variações nas respostas fisiológicas são aquelas que também apresentam grande diferença entre a produção da manhã e à tarde, assemelhando-se aquelas vacas de origem europeia (Figura 1), onde em baixas temperaturas apresentam alto metabolismo e com o aumento da temperatura do ar ocorre queda de metabolismo acentuado.

A evaporação respiratória foi a resposta fisiológica mais ligada a variação da produção leiteira (M–T) em vacas leiteiras sob estresse térmico, podendo ser utilizada como fator de seleção para vacas que apresentam maior equilíbrio entre as produções da manhã e tarde, ou para utilização de mecanismos (sombra, aspersão ou aspersão + ventilação) que promovam maior conforto e consequentemente menores perdas leiteiras, já que a produção média em regiões de baixa latitude é muito baixa, quando comparadas a latitudes mais altas.

6 – CONCLUSÕES

As variáveis ambientais temperatura máxima (T_{max}) e amplitude de temperatura (ΔT) apresentam influência sobre a diferença entre as ordenhas da manhã (M) e tarde (T), como consequência do aumento dessas variáveis ocorre perda na produção leiteira diária.

As vacas Holandês x Zebu apresentam aumento da frequência respiratória, evaporação na superfície cutânea e evaporação respiratória a medida que a temperatura retal aumenta. Quando esses animais estão em situação de estresse, segundo ITSC, as variações mais discretas das respostas fisiológicas indicam maior equilíbrio entre as produções da manhã e da tarde e as vacas que apresentam as respostas mais acentuadas também apresentam maiores diferenças entre as produções da manhã e da tarde.

A perda de calor por evaporação respiratória apresenta maior efeito sobre a diferença entre as ordenhas da manhã e da tarde, o que indica inadequação a região de baixa latitude das vacas que apresentam grande variação na taxa de evaporação respiratória, resultando em maior perda leiteira diária.

REFERÊNCIAS

- AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 3. Ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1991. 332p.
- BACCARI JR, F. **Manejo Ambiental de Vacas Leiteiras em Clima Quente**. Londrina: UEL, 2001.
- BACCARI JR, F. Adaptação de sistemas de manejo na produção de leite em climas quentes. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE**, Piracicaba, 1998. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, p.24-67, 1998.
- BAÊTA, F.C., SOUZA, C.F., **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 246p.
- BAÊTA, F.C., SOUZA, C.F., **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. ISBN: 978-85-7269393-6. 2. Ed. –Viçosa, MG: Ed.UFV, 2010. 269p.
- BARBOSA, O.R.; BOZA, P.R.; SANTOS, G.T.; SAKAGUSHI, E.S.; RIBAS, N.P. Efeitos da sombra e da aspersão de água na produção de leite de vacas da raça Holandesa durante o verão. **Acta Scientiarum Animal Science**, v.26, n.1, p.115-122, 2004.
DOI: 10.4025/actascianimsci.v26i1.1961
- BEEDE, D. K.; SHEARER, J. K. Nutritional management of dairy cattle during hot weather. **Agri-practice**, Santa Barbara, v. 12, n. 5, p. 5-13, setembro – outubro. 1991.
- BERMAN, A.; FOLMAN, Y.; KAIM, M. Upper critical temperature and forced ventilation effects of high yielding dairy cows in a tropical climate. **Journal of Dairy Science**. v. 68, n.6, p. 1488-1495, junho. 1985.
DOI:10.3168/jds.S0022-0302(85)80987-5
- BIANCA, W. **Thermoregulation**. In: Hafez, E.S.E. **Adaptation of domestic animals**. Philadelphia. Londres: Lea & Fabiger, 1973. Cap. 7, p.97-118.
- BIANCA, W. & FINDLAY, J. D. The effect of thermally-induced hyperpnoea on the acid-base status of the blood of calves. **Research in veterinary Science**. v. 3, p. 38-49. 1962
- CALEGARI, F., FRAZZI, E., CALAMARI, L. Productive response of dairy cows raised in a cooling barn located in the Po Valley (Italy). In: Proceedings of the Seventh International Symposium. American Society of Agricultural Engineers. **Anais...** Beijing, 2005
- CHAGAS, F.C. **Normais Climatológicas Para Mossoró, RN**. Monografia. Mossoró, ESAM, 1997.
- COLLIER, R.J., R.M. ELEY, A.K. SHARMA, R.J. PEREIRA, D.E. BUFFINGTON. Shade management in subtropical environment for milk yield and composition in Holstein and Jersey Cows. **Journal of Dairy Science**. v. 64, n. 5, p. 844-849, maio. 1981.
[http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(81\)82656-2](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(81)82656-2)

COSTA, L. L. M. **Termorregulação da bolsa escrotal associada a qualidade do sêmen de caprinos na região Semiárida**. 2010. 50f. Dissertação (Ciência Animal) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2010.

DAMASCENO, J. C., BACCARI JÚNIOR, F.; TARGA, L. A. Respostas fisiológicas e produtivas de vacas holandesas com acesso à sombra constante ou limitada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 595-602, 1998.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X1999000400024>

DE RENSIS, F., SCARAMUZZI, R. J. Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow-A review. **Theriogenology**, v. 60, n. 6, p. 1139-1151, outubro. 2003.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12935853>

DOMINGOS, H. G. T.; MAIA, A. S. C.; SOUZA JR, J. B. F.; et al. Effect of shad and water sprinkling on physiological responses and milk yields of Holstein cows in a semi-arid region. **Livestock Science**, v.154, n. 1-3, p.169-174, junho. 2013.
<http://doi:10.1016/j.livsci.2013.02.024>

FERREIRA, F.; PIRES, M.F.A.; MARTINEZ, M.L. et al. Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.58, n. 5, p.732-738, outubro. 2006.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-09352006000500005>

FINCH, V.A. Comparison of non-evaporative heat transfer in different cattle breeds. **Australian Journal Agricultural Research**, v. 36, n. 3, p. 497-508, 1985.
 DOI: 10.1071/AR9850497

GEBREMEDHIN, K.G., NI, H., HILLMAN, P.E. Temperature profile and heat flux through irradiated fur layer. In: USA INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMENT SYMPOSIUM, 5, 1997, Bloomington, MN. **Anais...** 1. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers, p.226-241. 1997.

HAHN, G. L. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. **Journal of Animal Science**, v. 77, n. 2, p. 10-20, janeiro. 1999.
 DOI:1997.77suppl_210x

IGONO, M.O., BJTVEDT, G., SANFORD-CRANE, H.T. Enviromental profile and critical temperature effects on milk production of Holsteins cows in desert climate. **International Journal of Biometeorology**, v. 36, n. 2, p. 77 – 87, junho. 1992.
 DOI: 10.1007/BF01208917

IGONO, M. O., B. J. STEEVENS, M. D. SHANKLIN, AND H. D. JOHNSON. Spray cooling effects on milk production, milk, and rectal temperatures of cows during a moderate temperate summer season. **Journal of Dairy Science**, v. 68, p. 979 – 985. 1985.
 DOI: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)80918-8](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80918-8)

JOKSIMOVIĆ-TODOROVIĆ, M., DAVIDOVIĆ, V., HRISTOV, S. AND STANKOVIĆ, B. Effect of heat stress on milk production in dairy cows. **Biotechnology in Animal Husbandry**, v. 27, n. 3, p. 1017–1023. 2011.
DOI:10.2298/BAH1103017J

JORDAN, E. R., Effects of heat stress on reproduction. **Journal of Dairy Science**, v. 86, p. 104-114. 2003.
DOI: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74043-0](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74043-0)

KADZERE, C. T.; MURPHY, M. R.; SILANIKOVE, N.; et al. Heat stress in lactating dairy cows: a review. **Livestock Production Science**, v. 77, n. 1, p. 59-91, outubro. 2002.
DOI: 10.1016/S0301-6226(01)00330-X

KIBLER, H.H.; BRODY, S. Influence of wind on heat exchange and body temperature regulation in Jersey, Holstein, Brown Swiss and Brahman cattle. Missouri: Missouri **Agricultural Experiment Station Research**, (Bulletin, 552), p. 39, maio. 1954.

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, agosto. 2005.
DOI: 10.1007/s00484-005-0267-1

MAIA, A.S.C., SILVA, R.G., LOUREIRO, C.M.B., Latent heat loss of Holstein cows in a tropical environment: a prediction model. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 10, p. 1837-1843, outubro. 2008.
<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982008001000018>

MARENGO, J.A., Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima semi-árido do Brasil. **Parcerias Estratégicas**. Brasília-DF, Nº 27. 2008

MARQUES, D. C. **Criação de Bovinos**. 6. ed. São Paulo: Nobel, 2006.

MARTELLO, L. S.; SAVASTANO JR, H.; SILVA, S. L.; et al.; Respostas fisiológicas e produtivas de vacas Holandesas em lactação submetidas a diferentes ambientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 1, p. 181-191, fevereiro. 2004.
<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982004000100022>.

MAUST, L. E.; MCDOW ELL, R. E.; HOOVEN, N. W. Effect of summer weather on performance of Holsteins cows in three stages of lactation. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 55, n. 8, p. 1133-1139, agosto. 1972.
[http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(72\)85635-2](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(72)85635-2)

McLEAN, J. A. The partition of insensible losses of body weight and heat from cattle under various climatic conditions. **Journal of Physiology**, v. 167, n. 3, p. 427–447, julho. 1963.
DOI: 10.1113/jphysiol.1963.sp007160

MÜLLER, P. B. **Bioclimatologia aplicada aos animais domésticos**. 3ª ed. Porto Alegre: SULINA, 1989. 262p.

NÄAS, I. A., ARCARO JR., I. Influência de ventilação e aspersão em sistemas de sombreamento artificial para vacas em lactação em condições de calor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 1, p. 139-142, janeiro – abril. 2001.
<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662001000100026>

OLIVEIRA, F.C.S. **Efeito do sombreamento sobre o desenvolvimento e conforto térmico de bezerros em região equatorial semiárida**. 2013. 39F. Dissertação (Ciência Animal), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN. 2013.

OLIVEIRA, S.E.O., COSTA, C.C.M., SOUZA JR., J.B.F., QUEIROZ, J.P.A.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**, v. 46, n. 8, p. 1413 – 1417. Dezembro. 2014.
 DOI 10.1007/s11250-014-0657-7

OMINSKI, K. H., KENNEDY, A. D., WITTENBERG, K. M., MOSHTAGHI-NIA, A. Physiological and production responses to feeding schedule in lactating dairy cows exposed to short-term, moderate heat stress. **Journal of Animal Science**, v. 85, n. 4, p. 730 – 737, abril. 2002.
 DOI: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74130-1](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74130-1)

PURWANTO, B. P., ABO, Y., SAKAMOTO R., FURUMOTO, F., YAMAMOTO, S. Diurnal patterns of heat production and heart rate under thermoneutral conditions in Holstein Friesian cows differing in milk production. **Journal of Agriculture Science**, v. 114, n. 2, p. 139-142, abril. 1990.
 DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0021859600072117>

PEREIRA, J. C. C., **Fundamentos de bioclimatologia aplicados à produção animal**. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2005. 195p.

PEREIRA, J. C., CUNHA, D. N. F. V., CECON, P. R., FARIA, P. R. Desempenho, temperatura retal e frequência respiratória de novilhas leiteiras de três grupos genéticos recebendo dietas com diferentes níveis de fibra. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 2, p. 328 – 334, fevereiro. 2008.
<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982008000200020>

POCAY, P. L. B., POCAY, V. G., STARLING, J. M. C., SILVA, R. G. Respostas fisiológicas de vacas Holandesas predominantemente brancas e predominantemente negras sob radiação solar direta. **ARS VETERINARIA**, v. 17, n. 2, p. 155 – 161. 2001.
<http://www.arsveterinaria.org.br/arquivo/2001/v.17,%20n.2,%202001/155-161.pdf>

RHOADS, M. L.; RHOAD, R. P.; VAN BAALE, M.J.; COLLIER, R.J.; SANDERS, S.R.; WEBER, W.J.; CROOKER, B.A.; BAUMGARD, L.H. Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. **Journal Dairy Science**, v. 92, n. 5, p. 1986 – 1997, maio. 2009.
 DOI: 10.3168/jds.2008-1641

SILANIKOVE, N. Effects of heat stress on welfare of extensively managed domestic ruminants. **Livstock Production Science**, v. 67, p. 1 – 18. 2000.
 DOI: 10.1016/S0301-6226(00)00162-7

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, n. 6, p. 1403 – 1411. 1999.

<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35981999000600031>

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

SILVA, R. G. **Biofísica ambiental, os animais e seu ambiente**. Jaboticabal, FUNEP. 2008. 393p.

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, n. 5, p. 1143-1147, maio. 2011.

<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982011000500028>

SILVA, R.G., MAIA, A.S.C., COSTA, L.L.M., QUEIROZ, J.A.F. Latent heat loss of dairy cows in an equatorial semi-arid environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 56, n. 5, p. 927-932. 2012.

<http://dx.doi.org/10.1007/s00484-011-0501-y>

SILVA, R. G., MAIA, A.S.C., **Principles of animal biometeorology**. Dordrecht, Netherlands: Springer, 2013. 261p.

D.O.I.:10.1007/978-94-007-5733-2. ISBN: 978-94-007-5732-5

SILVA, R.G., MAIA, A.S.C, COSTA, L.L.M. Index of thermal stress for cows (ITSC) under high solar radiation in tropical environments. **International Journal of Biometeorology**. Agosto. 2014.

DOI 10.1007/s00484-014-0868-7.

SILVA, C.C.V. **Influência das condições meteorológicas sobre a produção de vacas leiteiras mestiças criadas em sistema de pastejo irrigado em ambiente tropical semiárido**. 2014. 39F. Dissertação (Ciência Animal), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN. 2014.

SILVA, T. P. D., SOUSA JÚNIOR, S.C. Milk production of cows exposed at different periods of solar radiation at Southern of Piauí State. **Revista Agrarian**, v. 6, n. 21, p. 320 – 325. 2013.

<http://www.periodicos.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/2103/1574>

WEST, J. W. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. **Journal of Animal Science**, v. 86, n. 6, p. 2131-2144. 2003.

[http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)

TEIXEIRA, N.M. et al. Controle alternados das ordenhas da manhã e da tarde para estimação da produção de leite na lactação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.58, n.3, p.394-400, 2006.

<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-09352006000300017>

THOMPSON, H.J.; WORSTELL, D.M.; BRODY, S. The effect of humidity on the insensible weight loss, total vaporized moisture, and surface temperature in cattle. Missouri **Agric. Exp. Sta. Res.** Bulletin nº 531, 1953.

VILELA, R. A., LEME, T.M.C., TITTO, C.G., FANTINATO NETO, P., PEREIRA, A.M.F., BALIEIRO, J.C.C., TITTO, E.A.L. Respostas fisiológicas e comportamentais de vacas Holandesas mantidas em Sistema adiabático evaporativo. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 33, n. 11, p. 1379-1384, novembro. 2013.

<http://www.scielo.br/pdf/pvb/v33n11/v33n11a15.pdf>

ZIMBELMAN, R. B., R. P. RHOADS, M. L. RHOADS, G. C. DUFF, L. H. BAUMGARD, R. J. COLLIER. A re-evaluation of the impact of temperature humidity index (THI) and black globe humidity index (BGHI) on milk production in high producing dairy cows. Pages 158–168 in: Proc. Southwest Nutr. Manage. Conf. Tempe, AZ, The University of Arizona, **Anais...**Tucson. 2009