

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

**EQUILÍBRIO TÉRMICO E EMISSÃO DE METANO EM VACAS
JERSEY**

Marcos Davi de Carvalho

Zootecnista

2015

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

**EQUILÍBRIO TÉRMICO E EMISSÃO DE METANO EM VACAS
JERSEY**

Marcos Davi de Carvalho

Orientador: Dr Alex Sandro Campos Maia

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

2015

C331e Carvalho, Marcos Davi de
Equilíbrio térmico e emissão de metano em vacas Jersey/ Marcos
Davi de Carvalho. -- Jaboticabal, 2015
x, 47 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015
Orientador: Alex Sandro Campos Maia
Banca examinadora: Marcos Chiquitelli Neto, Márcia Helena
Machado da Rocha Fernandes
Bibliografia

1. Vacas-termorregulação. 2. Bovinos-leite. 3. Metabolismo animal.
4. Metano entérico I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.2

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

MARCOS DAVI DE CARVALHO – nasceu em 8 de outubro de 1984, na cidade de Patos de Minas, localizada no estado de Minas Gerais, tem como filiação Maria Abadia Magalhães Carvalho e Santo de Carvalho. Em fevereiro de 2004 ingressou no curso de Zootecnia do Instituto Federal Minas Geras-Campus de Bambuí onde em dezembro de 2007 graduou-se com o título de Zootecnista. Após a conclusão da graduação, trabalhou em empresas privadas na área de suinocultura por três anos. Em 2012 foi estagiário e bolsista FAPESP de treinamento técnico do laboratório de Bioclimatologia Animal da Unesp-Jaboticabal. Em março de 2103 Ingressou no curso de pós-graduação em Zootecnia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Jaboticabal-SP, e foi bolsista da Capes a partir de agosto de 2013. Atuou na área de Bioclimatologia Animal, equilíbrio térmico e emissão de metano em bovinos leiteiros da raça Jersey.

Epígrafe

O Menestrel

”UM DIA VOCÊ APRENDE...

Depois de algum tempo você aprende a diferença, a sutil diferença entre dar a mão e acorrentar uma alma. E você aprende que amar não significa apoiar-se. E que companhia nem sempre significa segurança. Começa a aprender que beijos não são contratos e que presentes não são promessas. Começa a aceitar suas derrotas com a cabeça erguida e olhos adiante, com a graça de um adulto e não com a tristeza de uma criança. Aprende a construir todas as suas estradas no hoje, porque o terreno do amanhã é incerto demais para os planos, e o futuro tem o costume de cair em meio ao vão.

Depois de um tempo você aprende que o sol queima se ficar exposto por muito tempo. E aprende que, não importa o quanto você se importe, algumas pessoas simplesmente não se importam... E aceita que não importa quão boa seja uma pessoa, ela vai feri-lo de vez em quando e você precisa perdoá-la por isso.

Aprende que falar pode aliviar dores emocionais. Descobre que se leva anos para construir confiança e apenas segundos para destruí-la... E que você pode fazer coisas em um instante das quais se arrepende pelo resto da vida. Aprende que verdadeiras amizades continuam a crescer mesmo a longas distâncias. E o que importa não é o que você tem na vida, mas quem você tem na vida. E que bons amigos são a família que nos permitiram escolher.

Aprende que não temos de mudar de amigos se compreendemos que os amigos mudam... Percebe que seu melhor amigo e você podem fazer qualquer coisa, ou nada, e terem bons momentos juntos. Descobre que as pessoas com quem você mais se importa na vida são tomadas de você muito depressa... por isso sempre devemos deixar as pessoas que amamos com palavras amorosas; pode ser a última vez que as vejamos.

Aprende que as circunstâncias e os ambientes têm influência sobre nós, mas nós somos responsáveis por nós mesmos. Começa a aprender que não se deve comparar com os outros, mas com o melhor que pode ser. Descobre que se leva muito tempo para se tornar a pessoa que quer ser, e que o tempo é curto. Aprende que não importa onde já chegou, mas para onde está indo... mas, se você não sabe para onde está indo, qualquer caminho serve.

Aprende que, ou você controla seus atos, ou eles o controlarão... e que ser flexível não significa ser fraco, ou não ter personalidade, pois não importa quão delicada e frágil seja uma situação, sempre existem, pelo menos, dois lados. Aprende que heróis são pessoas que fizeram o que era necessário fazer, enfrentando as consequências. Aprende que paciência requer muita prática. Descobre que algumas vezes a pessoa que você espera que o chute quando você cai é uma das poucas que o ajudam a levantar-se.

Aprende que maturidade tem mais a ver com os tipos de experiência que se teve e o que você aprendeu com elas do que com quantos aniversários você celebrou. Aprende que há mais dos seus pais em você do que você supunha. Aprende que nunca se deve dizer a uma criança que sonhos são bobagens... Poucas coisas são tão humilhantes e seria uma tragédia se ela acreditasse nisso. Aprende que quando está com raiva tem o direito de estar com raiva, mas isso não te dá o direito de ser cruel.

Descobre que só porque alguém não a ama do jeito que você quer que ame não significa que esse alguém não o ama com tudo o que pode, pois existem pessoas que nos amam, mas simplesmente não sabem como demonstrar ou viver isso. Aprende que nem sempre é suficiente ser perdoado por alguém... Algumas vezes você tem de aprender a perdoar a si mesmo. Aprende que com a mesma severidade com que julga, você será em algum momento condenado. Aprende que não importa em quantos pedaços seu coração foi partido, o mundo não pára para que você o conserte.

Aprende que o tempo não é algo que possa voltar. Portanto, plante seu jardim e decore sua alma, em vez de esperar que alguém lhe traga flores. E você aprende que realmente pode suportar... que realmente é forte, e que pode ir muito mais longe depois de pensar que não se pode mais. E que realmente a vida tem valor e que você tem valor diante da vida!

“Nossas dúvidas são traidoras e nos fazem perder o bem que poderíamos conquistar se não fosse o medo de tentar.”

William Shakespeare

DEDICATÓRIA

Primeiramente a Deus, pela oportunidade de a cada dia poder aprender um pouco mais e por todas as graças concedidas;

Ao meu pai Santos de Carvalho (*in memoriam*) e minha mãe Maria Abadia Magalhães de Carvalho; por todos os ensinamentos ao longo da minha vida, pela educação, pelo sacrifício em querer deixar algo de bom em minha vida: o conhecimento.

Aos meus irmãos Moacir Santos de Carvalho e Mauria Verônica de Carvalho, pelo carinho, amizade e por sempre estarem ao meu lado.

A Ângela Regina, por todo seu amor e carinho ao longo de todos esses anos, e por ser essa pessoa tão abençoada e querida por todos. Não sei como agradecer por toda sua dedicação, paciência e companheirismo ao longe de todos esses anos. Amo muito.

Sheila Tavares Nascimento, por todo seu carinho e companheirismo, mesmo nas horas mais difíceis sempre esteve ao meu lado. “Amigos são a família que Deus nos permitiu escolher” e você faz parte da minha família. Amo muito e quero sempre ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por toda sua bondade infinita e por hoje eu poder estar aqui, concluindo este trabalho e por sempre estar ao meu lado. Obrigado meu Deus por toda sua benção.

A (CAPES) Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de estudos durante o mestrado.

A FAPESP – Fundação de Amparo e Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo financiamento do projeto.

A Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho por fornecer suporte para a realização do projeto e por propiciar a oportunidade de crescer em minha carreira profissional.

APTA de Ribeirão Preto por fornecer os animais e todo o suporte para a realização desde trabalho e em especial a Pesquisadora Dr (a). Maria da Graça a qual, contribuiu muito para a concretização do mesmo.

Ao meu orientador Dr. Alex Sandro Campos Maia pela orientação, dedicação, ajuda e sempre buscando o meu melhor.

A minha família, (tios, tias e primos) pelo amor, dedicação, carinho e apoio em todos os momentos da minha vida, e mesmo longe, nunca se fizeram ausentes.

Aos professores Doutores Márcia Helena e Marcos Chiquitelli por fazerem parte da banca de defesa da dissertação e por todo tempo e dedicação a mim concedido o meu muito obrigado.

Aos professores do programa de pós-graduação em Zootecnia por todo o conhecimento, dedicação e carinho.

Aos amigos e integrantes do INOBIO, Sheila Tavares Nascimento, Carolina Cardoso Nagib, Cintia Carol de Melo Costa, Stefan Edward Octávio Oliveira, Leandro Zuccherato Camerero, Bruno Simão por estarem presentes em momentos todos os momentos.

Aos amigos que foram imprescindíveis e responsáveis pela condução do meu experimento Carolina Cardoso Nagib, Cintia Carol de Melo Costa, Leandro Zuccherato Camerero, Bruno Simão, Laíse Augusto.

As estagiárias Laíse Augusto, Gabriela Bruzatti, Gabriela Geraldi e Luiza Magucci por todo o empenho e companheirismo durante as coletas de dados.

Ângela Regina Arduino por todo seu carinho desde o primeiro dia que cheguei no Laboratório de Bioclimatologia animal, e por toda a sua dedicação, carinho, respeito e acima de tudo sua amizade e companheirismo. Não tenho palavras para agradecer por tudo que fez e tem feito por mim.

A Sheila Tavares Nascimento, por toda a sua amizade e companheiro. Uma amizade incondicional, que supera todas as dificuldades e todos os problemas que a vida coloca como desafios para nos ensinar o verdadeiro amor de amigos (irmãos).

A Viviane Endo, pela amizade, carinho e os momentos de descontração ou mesmo de conversa na mesa do café da manhã, almoço ou mesmo no jantar. Obrigado por tudo, e prometo que vou na Holanda te visitar.

A grande amiga Ariane Castro, você é uma das grandes responsáveis por eu estar aqui onde estou hoje, ainda lembro de nossa conversa na véspera do ano de 2012. O meu muito obrigado.

Ao grande amigo Tiago Medeiros, meu grande incentivador e o que me ajudou a trilhar este caminho. Estou onde estou e devo grande parte disso a você. O meu

muito obrigado meu amigo.

A Jaqueline Arduíno, obrigado por todas as risadas, brincadeiras, momentos de descontração e por todas as palavras de incentivo.

Ao grande amigo Felipe Souza, grande companheiro e amigo de república na época de graduação,

Ao amigo de república Lucas Henrique, pela amizade e companherismo.

Ao grande e nobre amigo João Junior (Jão), por todos os conselhos e amizade despendida, apesar de pouco tempo de amizade, posso dizer que é para a vida toda. E uma certeza posso ter, grandes amizades crescem mesmo com longas distancias.

A amiga Amélia Almeida pela amizade e por toda a sua contribuição durante o desenvolvimento deste trabalho. O meu muito obrigado.

Aos colegas de faculdade do Curso de Zootecnia do Instituto Federal Minas Gerais – Campus Bambuí, em especial as turmas ZOO-01, ZOO-02 e ZOO-03, uma grande família de profissionais.

Aos funcionários da Pós-graduação: Nina, Fernanda, Márcia, Diego, Branca, Moyses e Gabriela, por todo o carinho e atenção a mim dispensado e todo o empenho em colaborar para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos funcionários da Biblioteca por tudo sua atenção, paciência e cordialidade na ajuda das correções das referências.

Aos animais que foram utilizados em nossas pesquisas, aos quais devemos todo os resultados aqui reportado, buscando cada vez mais otimizar nossos sistemas de produção animal e melhorar as condições de conforto e bem-estar dos animais.

SUMÁRIO

	Página
EQUILÍBRIO TÉRMICO E EMISSÃO DE METANO EM VACAS JERSEY	
RESUMO.....	xii
ABSTRACT	xiv
LISTA DE ABREVIACÕES.....	xvi
LISTA DE TABELAS	xviii
LISTA DE FIGURAS	xix
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo Geral.....	2
2.2. Objetivo específico	2
3. REVISÃO DE LITERATURA	2
4. MATERIAL E MÉTODOS	11
4.1. Local, Animais e Arranjo Experimental	11
4.2. Máscara facial e condicionamento dos animais.....	12
4.3. Coleta de dados.....	13
4.3.1 <i>Medidas Meteorológicas</i>	13
4.3.2. <i>Medidas Fisiológicas</i>	14
4.3.3. <i>Produção de calor metabólico</i>	16
4.3.4. <i>Transferência de calor pelo trato respiratório</i>	17
4.3.5. <i>Fluxo de calor sensível</i>	18
4.3.5.1 <i>Radiação de ondas longas</i>	18
4.3.5.2 <i>Convecção</i>	18
4.3.6. <i>Emissão entérica de metano</i>	18
4.5. Análises estatística	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
6. CONCLUSÃO.....	38
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

EQUILÍBRIO TÉRMICO E EMISSÃO DE METANO EM VACAS JERSEY

RESUMO – O presente trabalho objetivou o estudo de variáveis fisiológicas e a emissão de metano entérico em bovinos de leite da raça Jersey, relacionando com as variáveis ambientais. Para entender essa dinâmica do equilíbrio térmico foi conduzido um experimento onde foram utilizados doze animais da raça Jersey lactantes com produção média diária de 17,7 L/dia, pertencentes ao rebanho da APTA de Ribeirão Preto, o médio de $362,3 \pm 31,0$, não prenhes e com média de dois meses de lactação. O arranjo experimental adotado foi em quadrado latino sendo avaliados 12 animais durante 12 dias de coleta e observados durante 12 horas. A temperatura superfície da epiderme foi fortemente correlacionada com as variáveis meteorológicas do ambiente (temperatura e umidade relativa do ar), sendo seu coeficiente de correlação igual a 0,69, -0,50 e fracamente correlacionada com a radiação -0,11. A temperatura retal apresentou a menor média diária de $38,5 \pm 0,33$ °C e a maior média de $40,3 \pm 0,05$ °C. A temperatura da superfície do pelame aumentou até por volta das 16:00 horas, sendo que após esse horário passou a ocorrer um decréscimo, enquanto a da epiderme tem um decréscimo a partir das 18:00 horas. A temperatura da epiderme apresentou uma correlação positiva de 0,83 com a temperatura do pelame e com a temperatura retal de 0,55. A frequência respiratória apresentou uma correlação positiva com a temperatura do ar, 0,35. A perda de calor via evaporação respiratória apresentou uma correlação positiva com a temperatura do ar, 0,71. De forma que, a maior média, às 13:00 horas, $30,4 \pm 0,33$, $W m^{-2}$ e a menor, em torno das 8:00 horas, com média de $12,6 \pm 0,29$ $W m^{-2}$ enquanto sua correlação com a umidade relativa foi -0,51. O efeito da hora do dia foi significativo ($P < 0,01$) para produção de calor metabólico e emissão de CH_4 entérico. A correlação entre a emissão de CH_4 e a produção de calor metabólico foi de 0,23. A análise de variância mostrou que o dia de coleta, classe de hora e o animal foram significativos ($P < 0,05$) para todas as variáveis em estudo. Considerando o efeito da fração da hora dentro da classe de hora, a produção de calor metabólico, evaporação respiratória e frequência respiratória não houve diferença. Ao observarmos as correlações entre a emissão e as variáveis ambientais, as correlações entre a emissão de metano com a temperatura do ar (-

0,60), e umidade relativa do ar (0,67) podem indicar que o ambiente possivelmente influencia indiretamente na quantidade de CH₄. As condições meteorológicas (temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação) nas quais os animais foram avaliados durante o período do dia, não acarretou alterações nas variáveis fisiológicas dos animais, por exemplo, na frequência respiratória.

Palavras-chave: Termorregulação, Bovinos de leite; metabolismo animal; metano entérico.

THERMAL EQUILIBRIUM AND METHANE EMISSION IN JERSEY COWS

ABSTRACT – The present work aimed to study the physiological variables and enteric methane emission in Jersey breed dairy cow, relating with environmental variables. To understand the dynamics of thermal equilibrium was conducted an experiment where we used twelve animals of Jersey breed lactating cow with average daily production of 17.7 L/day, by the herd of APTA of Ribeirão Preto, the average of 362.3 ± 31.0 , not pregnant and with an average of two months of lactation. An experiment was conducted adopting an experimental Latin square design where 12 animals were evaluated during 12 days of data collection and being observed for 12 hours long. The skin surface temperature was strongly correlated with the environmental meteorological variables (temperature and relative humidity), and its coefficient of correlation was equal to 0.69, -0.50 and weakly correlated to the solar radiation -0.11. The lowest average of rectal temperature was 38.5 ± 0.33 ° C and the highest was 40.3 ± 0.05 ° C. The coat surface temperature increased until around 16:00 hours, and after that it began to decrease, while the epidermis had a decrease starting from 18:00 hours. The temperature of the epidermis showed a positive correlation with the hair coat temperature of 0.83 and with the rectal temperature of 0.55. The respiratory frequency showed a positive correlation with the air temperature, 0.35. The heat loss by respiratory evaporation showed a positive correlation with the air temperature, 0.71. So that, the high average, was at 13 hours 30.4 ± 0.33 , $W m^{-2}$ and the low, around at 8 hours, with average of 12.6 ± 0.29 $W m^{-2}$ while their correlation with relative humidity was -0,51. The hour and day effects was significant ($P < 0.01$) for metabolic heat production and enteric methane emission. The correlation among methane emission and metabolic heat production was of 0.23. The analysis of variance showed that collet day, hour of class and animal were significant ($P < 0.05$) for all variables studied. Considering the effect of hour fraction in hour class, the metabolic heat production, respiratory evaporation and respiratory frequency had not difference. We showed the correlation among the emission and environmental variables, the correlations between the methane emission with the air temperature (-0.60), and relativity humidity (0.67) may indicate that the environment possibly influence indirectly the quantity of CH_4 . The meteorological conditions (air

temperature, relativity humidity and radiation) in which the animals were evaluated during the period of the day do not leded changes in physiological variables of animals, for example, in respiratory frequency.

Keywords: thermoregulation, dairy cattle; animal metabolism; enteric methane.

LISTA DE ABREVIações

APTA = Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios

A = Área do corpo do animal (m^2)

CH₄ = Metano

CH_{4ATM} = Metano inspirado ($L h^{-1}$)

CH_{4EXP} = Metano liberado no sistema respiratório ($L h^{-1}$)

CO₂ = Dióxido de carbono (%)

CO_{2A} = Proporção de CO₂ na atmosfera (%)

CO_{2E} = Proporção de CO₂ no ar expirado (%)

d = dimensão característica da superfície (m)

Dv = Difusividade do vapor de água na atmosfera ($m^2 s^{-1}$)

E_{CH4} = Emissão de metano ($L s^{-1}$)

EP = Erro Padrão

E_R = Evaporação respiratória ($W m^{-2}$)

F_R = Frequência respiratória (resp. min^{-1})

h_C = Coeficiente de convecção ($W m^{-2} K^{-1}$)

h_G = Coeficiente de convecção do globo negro ($W m^{-2} K^{-1}$)

k = Condutividade térmica do ar ($W m^{-1} °C^{-1}$)

Nu = Número adimensional de Nusselt.

O₂ = Oxigênio (%)

O_{2A} = Proporção de oxigênio na atmosfera (%)

O_{2E} = Proporção de oxigênio do ar expirado (%)

P_P{T_A} = Pressão parcial de vapor a temperatura do ar (kPa)

P_S{T_{EXP}} = Pressão de saturação do ar expirado (kPa)

P_S{T_S} = Pressão parcial de saturação da temperatura da superfície (kPa)

Q_{CO2} = Coeficiente calórico do dióxido de carbono ($J L^{-1}$)

q_{conv} = Fluxo de calor por convecção

q_{ER} = Perda de calor por evaporação respiratória

q_{es} = Perda de calor por evaporação da superfície do animal ($W m^{-2}$)

q_{met} = Metabolismo ($W m^{-2}$)

Q_{O2} = Coeficiente calórico do oxigênio ($J L^{-1}$)

q_{r} = Fluxo de calor por radiação

R_{C} = Radiação de ondas curtas (W m^{-2})

Sh = Número de Sherwood

T_{A} = Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$)

T_{EP} = Temperatura da superfície da epiderme ($^{\circ}\text{C}$)

T_{EXP} = Temperatura do ar expirado ($^{\circ}\text{C}$)

T_{G} = Temperatura do globo negro (K)

T_{S} = Temperatura da superfície do pelame ($^{\circ}\text{C}$)

T_{R} = Temperatura retal ($^{\circ}\text{C}$)

T_{RM} = Temperatura radiante média ($^{\circ}\text{C}$)

T_{RMSOL} = Temperatura radiante média ao sol ($^{\circ}\text{C}$)

T_{RMSOMBRA} = Temperatura radiante média à sombra ($^{\circ}\text{C}$)

U_{R} = Umidade relativa do ar (%)

V_{RC} = Volume respiratório corrente (L resp.^{-1})

ε_{G} = Emissividade do globo negro

λ = Calor latente de vaporização (J g^{-1})

σ = Constante de Stefan-Boltzman ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$)

Ψ_{A} = Umidade absoluta da atmosfera (g m^{-3})

Ψ_{E} = Umidade absoluta do ar expirado (g m^{-3})

Ψ_{S} = Umidade absoluta do ar que passa pelo interior da cápsula (g m^{-3})

σ_{e}^2 = Erro padrão da média

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1.	Quadrado médio da produção de calor metabólico (q_{met}), perda de calor por evaporação respiratória (q_{ER}), Frequência respiratória (F_R), emissão de metano (E_{CH_4}) e fluxo respiratório (V_m)	21
Tabela 2.	Quadrado médio da temperatura retal (T_R) temperatura do ar expirado (T_{EXP}), temperatura superfície da epiderme (T_{EP}), temperatura superfície do pelame (T_S)	22
Tabela 3.	Médias gerais da temperatura do ar (T_A), umidade relativa do ar (U_R) radiação solar (R_{AD}), temperatura radiante média à sombra ($T_{RM_{sombra}}$) e temperatura radiante média ao sol ($T_{RM_{sol}}$)	23
Tabela 4.	Coeficientes de correlação e Probabilidade (P) entre a emissão de metano (E_{CH_4} , $L\ h^{-1}$) e a temperatura do ar (T_A , °C), da superfície da epiderme (T_{EP} , °C) e do Pelame (T_S , °C), retal (T_R , °C), umidade relativa (U_R , %), Radiação (R_{AD} , $W.m^{-2}$) e Temperatura radiante média (T_{RM} , °C)	36

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figure 1.	Plano experimental	12
Figure 2.	Máscara facial desenvolvida para as coletas de dados	13
Figure 3.	Médias ajustadas por quadrados mínimos ($\pm EP$) da temperatura do ar ($^{\circ}C$), das temperaturas da superfície do pelame ($^{\circ}C$) e epiderme ($^{\circ}C$) e temperatura retal ($^{\circ}C$) em função da hora do dia	25
Figure 4.	Médias ajustadas por quadrados mínimos ($\pm EP$) da temperatura retal ($^{\circ}C$), das temperaturas da superfície da epiderme ($^{\circ}C$) e do pelame ($^{\circ}C$) e radiação ($W.m^{-2}$) em função da hora do dia.	26
Figure 5.	Médias ajustadas por quadrados mínimos ($\pm EP$) da umidade relativa do ar (%) em função da hora do dia.	27
Figure 6.	Temperatura da superfície do pelame (T_s , $^{\circ}C$) em bovinos de leite da raça Jersey em função da temperatura do ar ($^{\circ}C$), $\sigma_e^2=0,064$	28
Figure 7.	Frequência respiratória (resp. min^{-1}) em bovinos de leite da raça Jersey em função da temperatura do ar ($^{\circ}C$), $\sigma_e^2=3,77$	29
Figure 8.	Perda de calor por evaporação respiratória ($W m^{-2}$) em bovinos de leite da raça Jersey em função da temperatura do ar ($^{\circ}C$), $\sigma_e^2=4,88$	30
Figure 9.	Perda de calor por evaporação respiratória ($W m^{-2}$) em	31

- bovinos de leite da raça Jersey em função da umidade relativa do ar (%), $\sigma_e^2=5,61$
- Figure 10. Temperatura do ar expirado ($^{\circ}\text{C}$) em bovinos de leite da raça Jersey em função da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), $\sigma_e^2=0,063$ 32
- Figure 11. Perdas de calor por convecção (W m^{-2}), radiação de ondas longas (W m^{-2}) evaporação respiratória (W m^{-2}) e produção de calor metabólico (W m^{-2}) em vacas de leite da raça Jersey em função do horário do dia 33
- Figure 12. Médias estimadas por quadrados mínimos ($\text{EP}\pm$) da produção de calor metabólico (W m^{-2}) e emissão de metano entérico ($\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$) em vacas da raça Jersey em função da hora do dia 34
- Figure 13. Emissão de metano ($\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$) por bovinos de leite da raça Jersey em função da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), $\sigma_e^2=2,30$ 35

1. INTRODUÇÃO

O Brasil caracteriza-se por apresentar condições climáticas e meteorológicas que não favorecem as trocas de calor e massa das principais raças especializadas para produção de leite. Essas condições são temperaturas elevadas e altos níveis de radiação solar (OLIVEIRA et al., 2014; SILVA et al., 2012). Além da temperatura elevada e radiação, a umidade relativa do ar elevada compromete a capacidade de bovinos de leite dissipar calor para o ambiente influenciando diretamente na diminuição da produção (BILBY et al., 2009). Neste sentido, inúmeras pesquisas tem direcionado seu foco para avaliar os efeitos do estresse por calor sobre o balanço de energia térmica e respostas produtivas de bovinos leiteiros criados nos trópicos (SILVA e MAIA., 2011; MAIA et al., 2005a; MAIA et al., 2005b).

A compreensão de como se comporta a dinâmica do equilíbrio térmico em bovinos de leite é essencial para reduzir as perdas econômicas referentes ao estresse térmico. Por exemplo, prejuízos de ordem econômica que ocorrem no rebanho leiteiro dos Estados Unidos anual são estimadas em mais de US\$ 900 milhões (ST-PIERRE et al., 2003; ALLEN et al., 2015), podendo resultar em um decréscimo de 17% na produção de leite de vacas de 15 kg de leite/dia e de 22% em vacas de 40 kg/dia (PINARELLI, 2003, PORCIONATO et al., 2009). Essas perdas econômicas e produtivas são acarretadas por reduções na produção e mudanças na composição do leite, redução na ingestão de alimentos e aumento na ingestão de água (HEAD, 1995, PORCIONATO et al., 2009).

Em um organismo animal, o equilíbrio térmico é função da energia térmica originada dos processos metabólicos, das trocas térmicas via processos sensíveis com o ambiente circundante e das perdas evaporativas (Silva, 1999). Em estudo com bovinos da raça Holandesa, (Maia et al. 2005c) verificaram que em temperatura do ar acima de aproximadamente 30°C as vias sensíveis assumem um papel de menor importância na perda de calor, enquanto as perdas latentes, via evaporação cutânea (80%) e respiratória (20%), garantem a manutenção da homeotermia para o animal.

Os animais da raça Holandesa aparecem como o principal genótipo para produção de leite no Brasil e no mundo. Não obstante, outras raças de origem

européia como a Jersey apresentam possibilidades no cenário nacional, por serem animais de características anatômicas e fisiológicas que aparentemente podem ser mais compatíveis às condições de clima tropical (SILVA, 1999). Porém, pesquisas com foco na influência desse ambiente sobre a termorregulação e o equilíbrio térmico de genótipos desta raça Jersey são escassas.

Sendo assim, não se sabe precisamente a dinâmica do equilíbrio térmico em vacas de leite da raça Jersey manejadas em ambiente tropical, conseqüentemente este trabalho tem o objetivo de medir os componentes do balanço de térmico de vacas da raça Jersey em condições de ambiente mais próximo ao de criação e, portanto, respostas mais precisas a respeito da interação ambiente x animal.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

- ❖ Estudar o equilíbrio térmico associado a respostas fisiológicas de bovinos da raça Jersey criados em ambiente tropical.

2.2. Objetivo específico

- ❖ Determinação da influência das condições ambientais sobre a emissão de metano, produção de calor metabólico e perda de calor latente em vacas da raça Jersey.

3. REVISÃO DE LITERATURA

A bovinocultura de leite no Brasil tem uma importância econômica e social, gerando empregos e alimentos para a população (PEREIRA, 2009). De acordo com dados do Anualpec (2014), o rebanho brasileiro da pecuária de leite em 2013 era de 38,3 milhões de cabeças e com uma projeção para 2014 de 40 milhões de cabeças e uma produção de leite de 37 bilhões de litros.

A pecuária de leite brasileira contribuiu no ano de 2013 com R\$ 34 bilhões do PIB (produto interno bruto), e ainda tem apresentado um crescimento médio de 5% ao ano (IBGE, 2014). Números divulgados pela Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), em parceria com o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea), Esalq/USP, mostram que a produção de leite apresentou um crescimento no faturamento anual de 17,13% (BOLETIM PIB, 2014).

No cenário da cadeia produtiva de leite brasileira, algumas raças apresentam potencial para serem manejadas em condições de ambiente tropical devido as suas características genéticas, adaptativas e produtivas, dentre essas raças, se destaca a Jersey.

Do ponto de vista de adaptação, entre as raças leiteiras de origem europeia a Jersey é a única que possui proteção natural contra radiação ultravioleta, devido sua epiderme ser pigmentada, conseqüentemente melhor adaptação à intensa radiação solar que caracteriza os ambientes tropicais do Brasil, assim favorecendo o equilíbrio térmico e a termorregulação desses animais nesse ambiente. A raça Jersey é originária de uma pequena ilha, de apenas 11.655 hectares, no canal da mancha, entre a Inglaterra e a França (região da Normandia). É denominada “Ilha de Jersey”, e pertence ao Reino da Grã-Bretanha. A Raça foi introduzida no Brasil no ano de 1896, no estado do Rio Grande do Sul (SILVA e VELOSO, 2011).

De acordo com Mcdowel et al.; (1954); Castanheira,(2009) o grau de troca de calor do animal com o meio depende, em parte, da extensão da superfície do corpo, resultante da taxa metabólica do animal, a qual e é expressão em $Kcal/m^2$. Assim, a relação massa: superfície corporal tem grande importância na perda de calor, ou seja, quanto maior a massa, menor será a superfície de contato. Quanto menor for o animal, maior será a área de exposição para a perda de calor, em relação ao núcleo central (MULLER, 1989; CASTANHEIRA, 2009). Sendo assim, animais da raça Jersey devido o seu menor tamanho corporal, apresenta maior área de exposição contribuindo para melhor termorregulação.

A termorregulação é o controle da temperatura em um sistema físico, onde organismos vivos são sistemas físicos que geram e trocam energia térmica com o meio ambiente (SILVA, 2000a), sendo o animal um sistema termodinâmico aberto, que continuamente, produz, ganha e perde calor e massa com o meio,

consequentemente as condições de temperatura, umidade e radiação solar influenciam diretamente o equilíbrio.

A termorregulação é regulada por dois sistemas que atuam em conjunto, o sistema endócrino e o sistema nervoso. Ambos enviam mensagens por meio de fibras sensitivas ou aferentes ao centro regulador do hipotálamo que processa as informações e envia respostas através de fibras eferentes e neurônios de associação até aos órgãos efetores, que iniciam as respostas fisiológicas necessárias para a manutenção da homeostase (SOUZA E BATISTA, 2012; SILVA e MAIA, 2013). A manutenção da homeotermia é prioridade para os animais frente alguma situação de estresse térmico, a qual impera sobre as funções produtivas como a produção de leite e reprodução (MARTELLO et al., 2004).

De acordo com Barbosa et al., (2004) deve haver um equilíbrio entre a termogênese (produção de calor) e a termólise (perda de calor). Tais processos são regulados através da modulação da termogênese e da intensificação de diferentes mecanismos de termólise, onde, a ativação destes mecanismos se dá principalmente a partir das variações das condições ambiente. Por exemplo, em condições de alta temperatura do ar, a perda de calor via mecanismos sensíveis são dificultadas, consequentemente os mecanismos de termólise são acionados, entre eles a sudorese, vasodilatação periférica e o aumento da frequência respiratória (McDOELL, 1975; CERUTTI, et al., 2013).

Quando as condições do meio se encontram abaixo da zona de conforto térmico, o animal apresenta uma vasoconstrição periférica e piloereção generalizada, levando a uma ligeira elevação na conservação de calor, porém, quando a temperatura estiver abaixo da T_{Ci}, além dos mecanismos fisiológicos, ocorre alterações no comportamento, como aumento da ingestão de alimento e mudança na postura, com o objetivo de incrementar sua produção de calor (VILELA, 2008).

No caso específico de bovinos de leite quando a temperatura do ar se encontra acima da zona de conforto térmico, ocorre um aumento da taxa respiratória, temperatura retal e sudação tendo como consequência um declínio na produção de leite, desempenho produtivo e reprodutivo (BITMAN et al., 1984); CORREA-CALDERON et al., 2003).

De acordo com Eigenberg et al., (2000) a frequência respiratória é um valioso parâmetro fisiológico que em conjunto com outras variáveis ambientais (MAIA 2005a; STEVENS 1981; E HAMMARLUND et al., 1986), tais como, temperatura do ar (T_a , °C), e umidade relativa (%) são importantes fatores para a determinação da perda de calor por evaporação respiratória em bovinos de leite.

A elevação da taxa respiratória ocorre como um mecanismo de regulação térmica, enquanto a temperatura retal é resultado do equilíbrio térmico (TITTO, 2010). No caso da frequência respiratória é o primeiro sinal visível de animais submetidos ao estresse térmico (VILELA, 2008), sendo que em condições de termoneutralidade, vacas em lactação apresentam frequência respiratória de 18 a 28 resp. min^{-1} , e que, quando temperaturas ambientes ultrapassam 26 °C começa a ocorrer uma elevação da taxa respiratória.

Segundo Gebremedhin e Wu, (2001) a evaporação respiratória é um processo pelo qual as vacas de leite perdem calor, no entanto é um processo exaustivo que exige mais energia para a manutenção da termorregulação. Frequência respiratória acima de 80 resp. min^{-1} é um indicador que vacas de leite estão enfrentando estresse por calor (STOWELL, 2000; GEBREMEDHIN e WU, 2001). Em bovinos, quando expostos a alta temperatura a perda de calor através da evaporação representa cerca de 80 % das perdas totais (MAIA et al., 2005a;. PIRES; CAMPOS, 2003; LIMA et al., 2013), sendo a evaporação cutânea, o principal meio evaporativo que é promovido pela sudorese e favorecido pela movimentação do ar, pelas características da capa de cobertura (pelame ou velo), (SILVA, 1999; GEBREMEDHIN e WU, 2002; BERTIPAGLIA et al., 2008).

No que se refere à temperatura retal, SILVA (2000), relatou que a temperatura do corpo não é homogênea e varia de acordo com a região do corpo e em razão das diferenças nas atividades metabólicas dos tecidos, sendo o reto a região que apresenta temperatura que mais se aproxima da temperatura interna corporal

A temperatura retal é geralmente usada, frequentemente, como índice de adaptação fisiológica ao ambiente quente, pois seu aumento indica que os mecanismos de termólise tornaram-se insuficientes para manter a homeotermia (MOTA, 1997; SILVA 2000; FERREIRA, 2006; VILELA, 2008), sendo que de acordo

com (SILVA, 2000), a temperatura retal em torno de 37,5 a 39,3 está dentro de uma faixa normal para bovinos, ou seja, os animais estão em equilíbrio com o meio.

De acordo com Silva e Maia (2013) o equilíbrio térmico pode ser representado pela expressão abaixo.

$$M + \Gamma + R_C \pm R_L \pm C_R \pm C_S \pm K - E_S - E_R = 0$$

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

A perda de calor sensível pelo animal para o meio que o circunda somente ocorre quando a temperatura do meio estiver mais baixa que a sua; caso ocorra o contrario haverá um ganho de energia térmica. A transferência de calor sensível de um determinado ponto para outro ocorre através de três mecanismos: condução, convecção e radiação (OLIVEIRA, 2007) e a transferência de calor latente ocorre por meio evaporativo cutâneo e respiratório.

Condução é a transferência de energia térmica entre corpos, entre partes de um mesmo corpo como resultado da interação entre átomos e moléculas que compõem sua matéria podendo ocorrer em sólidos, líquidos ou gasosos (ÇENGEL, 2009). A condição necessária para ocorrer à transferência de calor por condução é a existência de um gradiente de temperatura na qual essa transferência ocorre na direção da maior para a menor temperatura (INCROPERA, 2008).

A radiação é a transferência de calor de um corpo a outro através de ondas eletromagnéticas (INCROPERA, 2008). Para que essa transferência ocorra não é necessário meio, basta que a temperatura do corpo se encontrar -273 °C. No caso da convecção, a transferência de calor ocorre devido ao deslocamento de um fluido (SILVA e MAIA, 2013).

De acordo com INCROPERA, (2013), a convecção é classificada de acordo com a natureza do escoamento do fluido, referimos a convecção forçada, quando o escoamento é causado por meios externos, como ventiladores, uma bombas ou

ventiladores atmosféricos; a convecção natural, quando o escoamento é induzido por forças de empuxo originadas a partir da diferença de densidade causadas por variações de temperatura no fluido; e caso ocorra uma combinação entre convecção forçada e natural, teremos uma convecção combinada.

A evaporação constitui um dos mais importantes mecanismos físicos de dissipação de energia térmica nos animais, em ambiente dominado por temperaturas elevadas, sendo que as trocas de calor sensível deixam de ser efetivas no balanço homeotérmico, pois o gradiente de temperatura torna-se pequeno, reduzindo sua eficácia (BAÊTA e SOUZA, 1997) havendo necessidade de utilização das trocas de calor latente.

De acordo com Silva (2000), a quantidade de água evaporada do corpo de um animal depende de fatores, como a região da evaporação: no sistema respiratório ou na superfície cutânea. E ainda, de acordo com o autor supracitado, o ambiente tem uma importante influência nos processos evaporativos, onde em ambiente quente e seco, o processo de evaporação ocorre rapidamente, causando irritação cutânea e conseqüentemente desidratação e em um ambiente quente e úmido, a perda de evaporação se processa lentamente, prejudicando o processo de termólise e, por conseguinte aumentando o estresse calórico.

De acordo com Maia et al., (2005a) avaliando a perda de calor latente em vacas holandesas, relataram que a perdas por evaporação respiratória aumentaram juntamente com a temperatura do ar de forma quase linear até 20 °C, no entanto quando a temperatura do ar aumentou acima dos 25 °C a evaporação respiratória se tornou cada vez mais elevada.

No caso de bovinos de leite expostos à radiação solar ganham grande quantidade de calor por radiação de ondas curtas, cerca de 640 W. m⁻² conforme mostraram (SILVA et al., 2010) trabalhando com vacas Holandesas e Guzerá. Nestas condições a capacidade do animal em manter a temperatura interna estável se deve a sua habilidade em perder calor, por evaporação cutânea (FINCH et al., 1982).

De acordo com Silva et al (2012) trabalhando com vacas mestiças (Holandesas x Zebu) e vacas Holandesas em ambiente semi-árido e subtropical, reportaram que a evaporação cutânea no primeiro estudo foi de 117,2 W m⁻² e a

respiratória foi de $44,0 \text{ W m}^{-2}$, enquanto que no segundo estudo a perda de calor por evaporação cutânea foi de $85,2 \text{ W m}^{-2}$ e a evaporação pelas vias respiratórias foi de $30,2 \text{ W m}^{-2}$.

Estudos anteriores sugeriram um modelo teórico para a predição da perda de calor por evaporação e convecção cutâneas em bovinos mantidos em estábulo com nebulização de água, e ventilação através de um modelo físico, onde o animal foi considerado um cilindro. O modelo sugerido foi testado utilizando diferentes níveis de umidecimento (25, 50 e 75%) e velocidade do ar de 0,5, 2,0 e $5,0 \text{ m.s}^{-1}$. Neste modelo quando a temperatura se elevava para 30°C , a perda de calor latente diminuía de acordo com a elevação do nível da umidade da superfície do pelame, conforme aumentava à umidade relativa do ar de 20 para 80% (GEBREMEDHIN e WU 2001), uma provável explicação para a diminuição na perda de calor latente, seja devido à redução do gradiente de pressão entre o animal e o meio.

A dissipação de calor latente por meio da evaporação foi verificado por (THOMPSON et al., 1953 citado por SILVA 2008), em vacas Holandesas e Jersey mantidas a temperaturas de 30 e 38°C , onde foi observado que a evaporação era responsável por 70% e quase 100%, respectivamente, da produção de calor total. (GEBREMEDHIN et al., 2008) trabalhando vacas leiteiras da raça Jersey e Black Angus, relataram que a uma temperatura de aproximadamente 30°C a evaporação cutânea de bovinos da raça Black Angus chegou a $352,32 \text{ W m}^{-2}$, enquanto os da raça Jersey apresentaram uma perda de calor latente de $127,56 \text{ W m}^{-2}$ à mesma temperatura ambiente.

No caso de raças de origem europeia a pigmentação da epiderme acompanha a do pelame, exceto para a raça Jersey e aquelas nativas de regiões tropicais, cuja pigmentação da pele não está associada à do pelame de forma que a pigmentação escura da epiderme serve de proteção contra a radiação ultravioleta. Esta radiação em zonas intertropicais apresenta comprimento de onda nocivo aos tecidos da pele, podendo ocasionar quebra de DNA e indução de melanoma e carcinomas epidérmicos (SILVA, 1999).

Estudos acerca da produção de calor metabólico em ruminantes na sua grande maioria são realizados sob condições ambientais controladas, como em câmaras climáticas e protegidos da radiação solar (McLEAN, 1963 apud LIGHTON,

2008). Trabalhos estes que são de grande importância para a determinação da produção de calor metabólico dos animais, no entanto as condições em que os animais são avaliados não possuem a mesma complexidade onde os fatores, como velocidade do vento, radiação, temperatura e umidade do ar modificam-se de forma contínua podendo causar alterações significativas no metabolismo (LIGHTON, 2008).

A atividade metabólica de um animal está ligada estreitamente à sua própria temperatura corporal. Sendo que a taxa metabólica de um animal pode ser influenciada por diversos fatores tais como, temperatura ambiente, a hora do dia, a estação do ano, idade, sexo, peso e tipo de alimento que está sendo metabolizado (MacRAE e LOBLEY, 1981).

A determinação da produção de calor metabólico nos animais pode ser realizada por meio de calorimetria direta ou indireta. As formas de mensurar a produção de calor de um organismo são possíveis devido às leis que regem a termodinâmica onde afirma-se que: “a energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada; e a quantidade de energia liberada ou absorvida em um sistema não depende dos caminhos transcorridos durante sua transformação, mas apenas da energia contida nos reagentes e nos produtos finais” (LAVOISIER, 1780, REIS e SILVA, 2011).

A calorimetria direta mede o gasto energético pela taxa em que o calor é perdido do corpo para o ambiente. Essa perda de calor é transferida para o ambiente por meio de mecanismos sensíveis (condução, convecção e radiação) e por meio evaporativos (sudação e evaporação respiratória). Os animais são alojados em câmeras com paredes isolantes, sem troca de calor com o meio. A perda de calor total é estimada pela soma dos componentes evaporativos e não evaporativos (FONSECA, 2007).

A calorimetria indireta é o método mais utilizado para determinar a produção de calor metabólico, sendo essa determinação baseada no consumo de O_2 , produção de CO_2 , e CH_4 , além de N na urina. (Diener, 1997; Fonseca, 2007). A calorimetria indireta pode ser mensurada com os animais alojados em câmeras fechadas ou por meio de máscara facial que permite realizar medidas mais próximas das condições naturais de produção dos animais. O Brasil, com predominância de

clima tropical se torna de grande relevância esses estudos em condições de campo buscando compreender a influencia do meio acerca da produção e perda de calor dos animais.

No cenário atual, os dados de VIEIRA et al (2010) mostraram que a temperatura aumentou em média 0,6°C nos últimos 140 anos, e pode haver um aumento de até 5,8°C nos próximos cem anos. Essa elevação da temperatura impacta diretamente os sistemas de produção animal praticados no Brasil, o que de acordo com (TITTO, 2010), no que se refere à bovinocultura de leite, a exposição ao clima quente afeta tanto a fisiologia quanto o comportamento dos animais.

Sendo assim, correlacionar o equilíbrio térmico em bovinos com a sua emissão entérica de metano, e com isso conduzir pesquisas para construção de um banco de dados, a fim de entender e buscar metodologias para minimizar o impacto desta elevação da temperatura, decorrente das emissões do gás CH₄. Esse gás tem a capacidade de absorver radiação térmica conseqüentemente, o aumento da sua emissão para a atmosfera em decorrência de atividades humanas pode amplificar o efeito estufa, retendo mais energia na atmosfera e gerando elevação da temperatura e, conseqüentemente, provocando o aquecimento global.

A contribuição da Agropecuária na emissão de metano é decorrente da produção de arroz em terrenos alagados contribuindo com 11%, a fermentação de dejetos com 17% e a fermentação entérica em animais com 16%pecuária (PEDREIRA et al,; 2005). No entanto, a aplicação de tecnologias e mudanças no manejo alimentar, nas dietas dos animais, no melhoramento genético e dejetos pode contribuir para uma redução na emissão de gases do efeito estufa.

O metano entérico é derivado da atividade das *Archaea* metanogênicas (gêneros *Methanobrevibacter*, *Methanobacterium*, *Methanomicrobium* e *Methanosarcina*) que formam um grupo distinto de microrganismos, possuindo cofatores (coenzima M, F420, F430) e lipídeos (ésteres de isoprnil glicerol) únicos (McALLISTER et al., 1996; ZOTTI e PAULINO, 2009). A quantidade de metano produzido pelo animal é influenciada por fatores, nutricionais, tais como: níveis de consumo de ração, tipo de carboidrato na dieta, processamento de alimentos JOHNSON e JOHNSON (1995), o nível de produção (por exemplo, a produção anual de leite) e taxa de passagem da dieta. Além disso, fatores ambientais, tais

como a temperatura. (LOCKYER e CHAMPION, 2001) observaram que a produção de metano foi 25% maior em ovelhas alojadas em temperatura de 4,7°C do que ovelhas alojadas em 21°C, sendo essa diferença relacionada com o consumo de matéria seca (MS), que foi 8% maior nos animais em ambiente de 4,7°C.

Portanto, estudar e entender a dinâmica do equilíbrio térmico em vacas da raça Jersey manejadas em ambiente tropical, se torna de grande relevância, conseqüentemente, este trabalho tem o objetivo medir os componentes do balanço de térmico de vacas da raça Jersey em condições de ambiente mais próximo ao de criação e, portanto, respostas mais precisas a respeito da interação ambiente x animal e juntamente com a mensuração da emissão de metano, sob a Influência das variáveis meteorológicas (temperatura, umidade do ar e radiação).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local, Animais e Arranjo Experimental

Foram utilizados doze animais, da raça Jersey, lactantes com produção média diária de 17,66 L dia⁻¹, pertencentes ao rebanho da APTA de Ribeirão Preto. Os animais foram selecionados dentro do rebanho, onde selecionou os com idades e condições corporais mais próximos, com peso médio de 362,28±30,96, não prenhe e com aproximadamente dois meses de lactação. Durante o período experimental os animais receberam a mesma dieta (proporção de volumoso: concentrado), sendo o consumo diário por animal de 30 kg de silagem + 8 kg de concentrado divididos em dois tratos, as 07:00 e as 16:00 horas, e o consumo de água a vontade.

Foi realizado um experimento adotando um planejamento experimental em quadrado latino (Fig.1), sendo avaliados 12 animais durante 12 dias de coleta e observados durante 12 horas. As coletas foram realizadas no período diurno, sendo o primeiro animal avaliado entre as 08:00 até as 09:00h; o segundo animal entre as 09:00 até as 10:00h, e assim sucessivamente até o décimo segundo animal que foi avaliado entre as 19:00 até as 20:00h.

CLASSE DE HORA												
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1
12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	2
11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	3
10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	4
9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	5
8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	6
7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7
6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	8
5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	9
4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	10
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	11
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	12

DIA

Figura 1 - Plano experimental

4.2. Máscara facial e condicionamento dos animais

A melhor geometria da máscara facial que reduziu o espaço morto para bovinos foi uma forma elipsoidal (Fig. 2) a qual foi desenvolvida pelo núcleo de inovação em Biometeorologia Animal (INO BIO) do Laboratório de Bioclimatologia Animal pertencente à FCAV-UNESP.

Os animais utilizados no experimento foram condicionados ao uso da máscara facial e a rotina no tronco de contenção. Por se tratar de animais acostumados ao manejo diário de ordenha, a adaptação e aceitação ao uso da máscara facial foi rápida. Para certificar que a máscara não causava nenhum tipo de desconforto ao animal, alterações na frequência respiratória, ou mesmo no comportamento dos animais, realizou-se monitoramento da frequência respiratória a cada 10 minutos, durante o intervalo de uma hora de uso da máscara. Durante o período que os animais permaneciam com a máscara facial, a qual possuía acoplada à mesma um conjunto de válvulas de entrada e saída de ar, com o objetivo e já ir adaptando os animais a expirar e inspirar com as válvulas. Durante o período

de permanência dos animais com a máscara facial, era monitorado também a reatividade (tentativa de retirar a máscara facial), adaptação e posteriormente aceitação dos animais ao uso da máscara. Ao final do período de condicionamento foi realizada uma avaliação dos animais, sendo os mais adaptados e com melhor aceitação da máscara facial foram introduzidos ao experimento.



Figura 2- Máscara facial desenvolvida para as coletas de dados

4.3. Coleta de dados

4.3.1 Medidas Meteorológicas

A temperatura do ar (t_A , °C), do globo negro (t_g , °C) e a umidade relativa do ar (U_R , %), foram monitoradas com intervalos regulares de 3 minutos com um Datalogger (modelo Hobo, Onjet), enquanto a radiação solar direta (R , $W\ m^{-2}$) foi determinada com um Piranômetro (modelo CMP-22 Kipp & Zonen), e registrado manualmente em intervalos regulares de 10 minutos. A temperatura radiante média (T_{RM} K) foi estimada a partir dos dados de temperatura do ar e do globo negro (esfera oca de chapa de cobre com 0,15 m de diâmetro e pintada de preto fosco), considerando a condição natural, utilizando a equação proposta por Silva e Maia (2013),

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

onde $\varepsilon_G = 0,95$ é a emissividade do globo negro; T_G (K) é a temperatura do globo negro; $\sigma = 5,67051 \times 10^{-8}$ ($W m^{-2} K^{-4}$) é a constante de Steffan-Boltzmann e h_G ($W m^{-2} K^{-1}$) é o coeficiente de convecção do globo negro, o qual foi determinado de acordo com Silva e Maia (2013).

4.3.2. Medidas Fisiológicas

Durante as coletas de dados foram mensurados os gases respiratórios (oxigênio, O_2 ; gás carbônico, CO_2 ; H_2O ; e metano, CH_4), as funções respiratórias (volume respiratório corrente, e frequência respiratória) além das temperaturas corporais (da superfície da pele e pelame; retal e do ar expirado). Essas variáveis foram mensuradas utilizando o Sistema de Medidas Fisiológicas (SMF) do Laboratório de Bioclimatologia da FCAV – UNESP, o qual foi composto para este trabalho pelos seguintes equipamentos e componentes:

- 1-Máscara facial (Desenvolvidas pelo próprio laboratório de Bioclimatologia);
- 2-Analisador de O_2 (modelo FMS-1201-05, Field Metabolic System);
3. Analisador de CO_2 (modelo FMS-1201-05, Field Metabolic System);
4. Analisador de CH_4 (modelo MA-10 Methane Analyzer, Sable System);
5. Três analisadores de vapor de H_2O (modelo RH-300, Sable System);
6. Três bombas (modelo SS4 sub-sample, Sable System);
7. Uma coluna de dissecante (Perclorato de Magnésio);
8. Um espirômetro (modelo ML141 da ADInstruments);
9. Uma câmara misturadora de gases (modelo MLA246, ADInstruments);
10. Dois tubos de respiração (MLA1015 Breating Tube, ADInstruments);
11. Um cabeçal de fluxo (modelo MLT1000, ADInstruments);
12. Um sensor de temperatura nasal (modelo MLT415/AL, ADInstruments);
13. Um sensor de temperatura retal (Modelo MLT1407, ADInstruments);
14. Dois sensores de temperaturas da superfície corporal (Modelo MLT22/A, ADInstruments);
15. Sistema de aquisição de dados (Modelo PowerLab 16/30 e LabChart Pro ADInstruments);

16. Terminal para termistores (Modelo Thermistor Pod ML309, ADInstruments);

17. Computador;

Para determinação das proporções de CO₂, O₂, e CH₄ no ar expirado (CO_{2E}, O_{2E}, CH_{4E}, respectivamente); além da pressão de saturação do ar expirado ($P_S\{T_{EXP}\}$, kPa) nos animais durante os experimentos, primeiramente a máscara facial foi ajustada ao focinho dos animais de forma que a cada movimento respiratório, o ar da atmosfera entrava pela válvula de entrada de ar da máscara, enquanto o ar expirado saía pela válvula de saída de ar. Um tubo de respiração foi conectado na válvula de saída da máscara até a entrada de ar da câmara misturadora, assim o ar expirado pelo animal foi conduzido até esta câmara de gases. Na saída de ar da câmara misturadora foi conectada uma mangueira plástica (BEV-A-LINE IV) até a entrada de ar dos analisadores. Com o auxílio de uma bomba (bomba 1) o ar expirado no interior da câmara misturadora foi aspirado e puxado através da mangueira plástica e passou primeiramente pelo analisador de H₂O (analisador 1), que realizou a leitura da $P_S\{T_{EXP}\}$, em seguida, essa amostra de ar expirado seguiu para o tubo de dissecante (Perclorato de magnésio - Mg(ClO₄)₂) onde retirou as moléculas de vapor de H₂O para então seguir para os analisadores de CO₂, O₂ e CH₄ que realizarão a leitura da proporção desses gases no ar expirado do animal (CO_{2E}, O_{2E} e CH_{4E}, respectivamente).

Para o SMF realizar as medidas da frequência respiratória (F_R , resp min⁻¹), do volume respiratório corrente (V_{RC} , L resp⁻¹) e do fluxo respiratório (F_R , L s⁻¹) no conduto de saída de ar câmara misturadora foi conectado um cabeçal de fluxo por onde o ar expirado do animal, após ter passado pela câmara misturadora de gases, passava pelo seu interior, o qual estava conectado ao espirômetro que realizava a leitura digital da F_R e V_{RC} .

A temperatura da superfície do pelame (T_S , °C), foi aferida por meio do sensor 1 colocado na região dorsal do animal sobre a superfície do pelame. O sensor 2 similar ao sensor 1 foi usado para medir a temperatura da superfície da pele (T_E , °C) também colocado na região dorsal do animal, porém sobre a superfície da epiderme previamente tricotomizada. Esses sensores foram acoplados a uma placa de plástico, a qual foi fixada à pele do animal. A temperatura retal foi mensurada pelo sensor da temperatura retal (T_R , °C) inserido no reto do animal, enquanto o sensor

de temperatura nasal foi inserido no interior da máscara facial a frente das narinas do animal para registrar a temperatura do ar expirado (T_{EXP} , °C). Esses sensores foram conectados diretamente no terminal de termistores, e estes por sua vez foram conectados ao sistema de aquisição de dados, assim medindo continuamente a T_E , T_S , T_R e T_{EXP} , respectivamente.

No SMF as leituras do *baseline* das proporções do ar inspirado de O_2 , CO_2 e CH_4 da atmosfera (O_{2A} , CO_{2A} e CH_{4A} , respectivamente) foram feitas sempre que a máscara facial era retirada do focinho do animal. O *baseline* para a pressão parcial de vapor da atmosfera ($P_p\{T_A\}$, kPa) foi feita utilizando um outro analisador de H_2O (analisador 2) conectado por uma mangueira plástica a uma bomba (bomba 2) que puxou continuamente o ar ambiente para dentro desse analisador. Diferentemente da concentração de O_2 , CO_2 e CH_4 na atmosfera, o conteúdo de vapor nela varia acentuadamente ao longo do dia, por isso a necessidade de um analisador de vapor de H_2O exclusivo para o *baseline* da pressão de vapor de H_2O na atmosfera.

Todas as leituras realizadas pelo SMF foram registradas continuamente e simultaneamente, a uma taxa de uma observação por segundo pelo sistema de aquisição de dados, o qual foi conectado a um notebook que armazenou todos os dados para posterior extração dos mesmos. A partir desses dados foi possível determinar nos animais a produção de calor metabólico, perda de calor por evaporação na respiração e a emissão entérica de CH_4 .

4.3.3. Produção de calor metabólico

A produção de calor metabólico (q_{met} , $W m^{-2}$) foi determinada pela diferença na proporção de O_2 e CO_2 entre o ar inspirado e o expirado, de acordo com Silva e Maia (2013) e Lighton (2008). Sabendo que o oxigênio e o gás carbônico contribuem com aproximadamente 75 e 25%, respectivamente, para a produção total de calor, enquanto que o CH_4 e o N contribuem apenas com 1% (Brouwer, 1965; Kleiber, 1972), conseqüentemente q_{met} foi dado por:

$$q_{met} = A^{-1} F_R V_{RC} [0,75Q_{O_2} (O_{2A} - O_{2E}) + 0,25Q_{CO_2} (CO_{2E} - CO_{2A})]$$

onde A (m^2) é a área de superfície corporal do animal; V_{RC} é o volume respiratório corrente ($L \text{ resp.}^{-1}$); F_R é a frequência respiratória (resp s^{-1}); O_{2A} e O_{2E} são as proporções de O_2 na atmosfera e no ar expirado, respectivamente; CO_{2A} e CO_{2E} são as proporções de CO_2 na atmosfera e no ar expirado, respectivamente; Q_{O_2} e Q_{CO_2} são, respectivamente, os coeficientes calóricos do oxigênio e do dióxido de carbono ($J L^{-1}$), que variam de acordo com o quociente respiratório, conforme Schmidt-Nielsen (2013).

4.3.4. Transferência de calor pelo trato respiratório

A transferência de massa que ocorre na respiração foi estimada aplicando a Lei de Fick da difusão molecular (Incropera et al., 2008). A partir da equação de Fick, Silva e Maia (2013) adaptaram a seguinte fórmula para a transferência de calor latente que ocorre através da respiração para o ambiente:

$$q_R = \frac{\lambda V_{RC} F_R (\Psi_E - \Psi_A)}{A}$$

Onde: q_R é a perda de calor via evaporação respiratória ($W m^{-2}$); A (m^2) é a área de superfície corporal do animal; λ é o calor latente de vaporização da água ($J g^{-1}$); Ψ_A ($g m^{-3}$) é umidade absoluta da atmosfera; Ψ_E ($g m^{-3}$) é a umidade absoluta do ar expirado. As umidades absolutas foram determinadas por:

$$\Psi_A = \frac{2166,87 P_p \{T_A\}}{T_A}$$

Sendo $P_p \{T_A\}$ é a pressão parcial de vapor da temperatura do ar (kPa); T_A (K) é a temperatura do ar.

$$\Psi_E = \frac{2166,87 P_S \{T_{EXP}\}}{T_{EXP}}$$

Sabendo que $P_S \{T_{EXP}\}$ (kPa) é a pressão de saturação de vapor do ar expirado; T_{exp} (K) é a temperatura do ar expirado.

4.3.5. Fluxo de calor sensível

4.3.5.1 Radiação de ondas longas

O fluxo de calor por radiação de ondas longas foi determinado de acordo com Silva e Maia (2013), como mostra a equação a seguir:

$$q_{\text{r}} = \varepsilon\sigma(T_{\text{S}}^4 - T_{\text{RM}}^4)$$

Onde: ε é a emissividade da superfície, σ ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$) é a constante de Stefan-Boltzmann, T_{S} (K) é a temperatura da superfície e a T_{RM} (K) é a temperatura radiante média.

4.3.5.2 Convecção

O fluxo de calor por convecção foi determinado usando a lei do resfriamento de Newton, de acordo com Incropera et al. (2013):

$$q_{\text{conv}} = h_{\text{C}}(T_{\text{S}} - T_{\text{A}})$$

Onde: h_{C} é o coeficiente de convecção ($\text{W m}^{-2} \text{K}$), T_{S} é a temperatura da superfície (K) e T_{A} é a temperatura do ar (K). O h_{C} foi determinado considerando o animal um cilindro horizontal de acordo com Silva e Maia (2013).

4.3.6. Emissão entérica de metano

O metano entérico (L h^{-1}) liberado no sistema respiratório foi estimado de acordo com Silva e Maia (2013):

$$\text{ECH}_4 = 3600F_{\text{R}}V_{\text{RC}}(\text{CH}_{4\text{E}} - \text{CH}_{4\text{A}})$$

Onde: $\text{CH}_{4\text{E}}$ e $\text{CH}_{4\text{A}}$ são as proporções de metano no ar expirado e inspirado, respectivamente. A conversão da unidade L h^{-1} para g h^{-1} foi feita utilizando a Lei

dos Gases ($PV=nRT_A$), sendo P é a pressão atmosférica local (atm), $R=0,082$ atm L mol⁻¹ K⁻¹ (constante gasosa), $n=1,0$ mol (número de moles) e T_A (K) foi o valor da temperatura da atmosfera. Sabendo que a massa da molécula de $mCH_4=16$ g, conseqüentemente,

$$eCH_4 = ECH_4 P mCH_4 / RT_A$$

4.5. Análises estatística

Os dados foram analisados com auxílio do programa “Statistical Analysis System” (SAS) de acordo com Littell e Freund (1991). Esse programa foi utilizado para organização dos arquivos, exame de distribuição dos dados com relação à normalidade, estatísticas de tendência central, de dispersão, de associação e análise de variância, sendo está baseada no método dos quadrados mínimos (Harvey, 1960). No caso análise de variância foi realizada utilizando o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijklm} = \mu + D_i + A_j + H_k + F_m(H_k) + e_{ijklm}$$

onde Y_{ijklm} é a L -ésima observação das variáveis estudadas, D é o efeito aleatório do i -ésimo dia de coleta ($i=1, \dots, 12$); A é o efeito aleatório do j -ésimo animal ($j=1, \dots, 12$); H é o efeito da k -ésima classe de hora de coleta ($k=1, \dots, 12$; sendo a classe 1 (08:00-09:00), 2 (09:00-10:00), 3 (10:00-11:00), 4 (11:00-12:00), 5 (12:00-13:00), 6 (13:00-14:00), 7 (14:00-15:00) 8 (15:00-16:00), 9 (16:00-17:00), 10 (17:00-18:00), 11 (18:00-19:00) e 12 (19:00-20:00); F é o efeito da fração da hora dentro de cada hora ($F_m=8,05, 8,07, 8,08 \dots 19,92$); μ é a média paramétrica e e_{ijklm} é o erro aleatório.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância mostrou que o dia de coleta, classe de hora e o animal foram significativos ($P < 0,05$) para todas as variáveis em estudo. Considerando o efeito o efeito da fração da hora dentro da classe de hora, a produção de calor metabólico, evaporação respiratória e frequência respiratória não houve diferença ($P > 0,05$; Tab. 1 e 2).

Tabela 1 – Quadrado médio da produção de calor metabólico (q_{met}), perda de calor por evaporação respiratória (q_{ER}), Frequência respiratória (F_R), emissão de metano (Ech_4) e fluxo respiratório (V_m).

Fonte de Variação	gL	q_{met}	q_{ER}	F_R	Ech_4	V_m
Dia	11	277.127,43*	101.556,776*	785.246,754*	245.716,041*	6,80*
Classe de hora	11	355.383,208*	816.378,512*	105.702,493*	149.534,056*	44,07*
Animal	11	480.733,74*	596.649.213,8*	229.858,886*	788.738,680*	1,92*
Fhora(CLhora)	617	342,387	125.012,6	8,496	3.391.567*	0,029
Resíduo	1078	446,45	23,0681	10,70	2,59	0,03
CV		9,17	20,22	8,58	19,94	11,07
R ²		0,84	0,75	0,75	0,79	0,81

*Efeito significativo ($P < 0,05$) CV= Coeficiente de Variação e R^2 = Coeficiente de determinação

gL= graus de liberdade

Fhora(CLhora)= Fração da hora dentro da classe de hora

Tabela 2 – Quadrado médio da temperatura retal (T_R) temperatura do ar expirado (T_{EXP}), temperatura superfície da epiderme (T_{EP}), temperatura superfície do pelame (T_S).

Fonte de Variação	gL	T_R	T_{EXP}	T_{EP}	T_S
Dia	11	639.496,44*	161.967,44*	403.803,353*	486.059,19*
Classe de hora	11	663.791,16*	808.368,4*	203.291,12*	350.051,52*
Animal	11	127.031,221*	393.221,166*	113.998.948*	234.923,651*
Fhora(CLhora)	617	0,0359*	0,409453*	0,168278*	0,3618*
Resíduo	1078	0,029	0,21	0,090	0,228
CV		0,43	1,42	0,82	1,33
R ²		0,78	0,89	0,84	0,80

*Efeito significativo ($P < 0,05$) CV= Coeficiente de Variação e R^2 = Coeficiente de determinação

gL= graus de liberdade

Fhora(CLhora)= Fração da hora dentro da classe de hora

As condições meteorológicas em que o trabalho foi realizado se encontram na Tab 4. A correlação entre a temperatura do ar e a umidade foi negativa apresentou coeficiente de correlação igual a -0,78 ($P < 0,01$). A temperatura radiante média à sombra apresentou menor média geral em relação à temperatura radiante média ao sol. A radiação solar apresentou uma grande variação ao longo do dia com média geral de $(520,03 \pm 2,99 \text{ W m}^{-2}$; Fig 5), onde podemos observar a sua influência no comportamento das variáveis fisiológicas, como: temperatura retal ($^{\circ}\text{C}$), temperatura da superfície da epiderme ($^{\circ}\text{C}$) e pelame ($^{\circ}\text{C}$).

Tabela 3. Médias gerais da temperatura do ar (T_A), umidade relativa do ar (U_R) radiação solar (R_{AD}), temperatura radiante média à sombra ($T_{RM\text{sombra}}$) e temperatura radiante média ao sol ($T_{RM\text{sol}}$).

	N	Média	Erro padrão	Mínimo	Máximo
T_A (°C)	8637	28,99	0,03	19,55	34,22
U_R (%)	8640	36,78	0,11	16,64	79,79
R_{AD} ($W\ m^{-2}$)	6310	520,03	2,99	20,00	1001
$T_{RM\text{sombra}}$ (°C)	8637	29,22	0,03	19,71	34,95
$T_{RM\text{sol}}$ (°C)	7368	53,1	0,11	27,01	68,21

Entre as 13 e 14 horas, observou-se as maiores médias de temperatura que foram acompanhadas de menores médias de umidade relativa como pode ser observado na Fig 6. Em ambientes com altos níveis de temperatura e umidade, a transferência de calor via evaporação cutânea e respiratória é prejudicada (MAIA et al., 2005; SILVA e MAIA., 2011), fato que não ocorreu ao longo das coletas de dados do presente trabalho.

Informações sobre a definição de faixas ótimas de temperatura para criação de bovinos leiteiros apresentam algumas contradições na literatura. Correa-Calderon et al. (2004) definiram a temperatura crítica superior (TCS) para bovinos de origem europeia como sendo de 25 °C, enquanto que Martello (2006) estabeleceu a TCS como de 27 °C para bovinos europeus adultos, criados em condições tropicais. Portanto, baseado nesses trabalhos, os níveis de temperatura do ar encontrados na Tab. 3 estão acima da zona crítica superior, durante a maior parte do dia. Porém, na maioria dos casos, estas faixas foram definidas por estudos conduzidos com animais adaptados ao clima temperado e, portanto, podem não refletir a realidade em condições tropicais (SILVA et al., 2007).

A média de temperatura retal variou $38,5 \pm 0,33$ °C a $40,3 \pm 0,05$ °C, neste estudo. Podemos observar na Fig. 4 que a temperatura retal continuou se elevando mesmo quando a temperatura do ar estava diminuindo. Esse mesmo comportamento foi observado por Bacari et al., (1979), esses autores relataram que a temperatura retal acompanha a temperatura do ar até determinado horário do dia, sendo que a partir de então, a temperatura retal continua a subir enquanto que a

temperatura do ar diminui. É possível que a temperatura retal tem maior relação com a hora do dia do que com a temperatura do ar (BACARI et al., 1979). Ainda de acordo com Robertshaw, (2006) e Castanheira, (2009) a temperatura corporal segue um ritmo circadiano, com o máximo entre 17 e 19 horas e a mínima entre 4 e 6 horas da manhã. A partir dos dados aqui reportados a temperatura corporal máxima está de acordo com a reportada na literatura.

A temperatura da superfície do pelame aumentou até por volta das 16:00 horas, sendo que após esse horário ocorreu decréscimo. Ao passo que, a temperatura da superfície da epiderme teve decréscimo a partir das 18:00 horas. Como era de se esperar, a temperatura da epiderme se correlacionou positivamente com a temperatura do pelame e temperatura retal, coeficiente de correlação igual a 0,83 ($P < 0,01$) e 0,55 ($P < 0,01$) respectivamente.

A temperatura da superfície da epiderme foi fortemente correlacionada com as variáveis meteorológicas do ambiente (temperatura e umidade relativa do ar) com coeficiente de correlação igual a 0,69 ($P < 0,01$) e -0,50 ($P < 0,01$), respectivamente. Por outro lado, a radiação mostrou-se e fracamente correlacionada com a temperatura da superfície da epiderme -0,11 ($P < 0,01$).

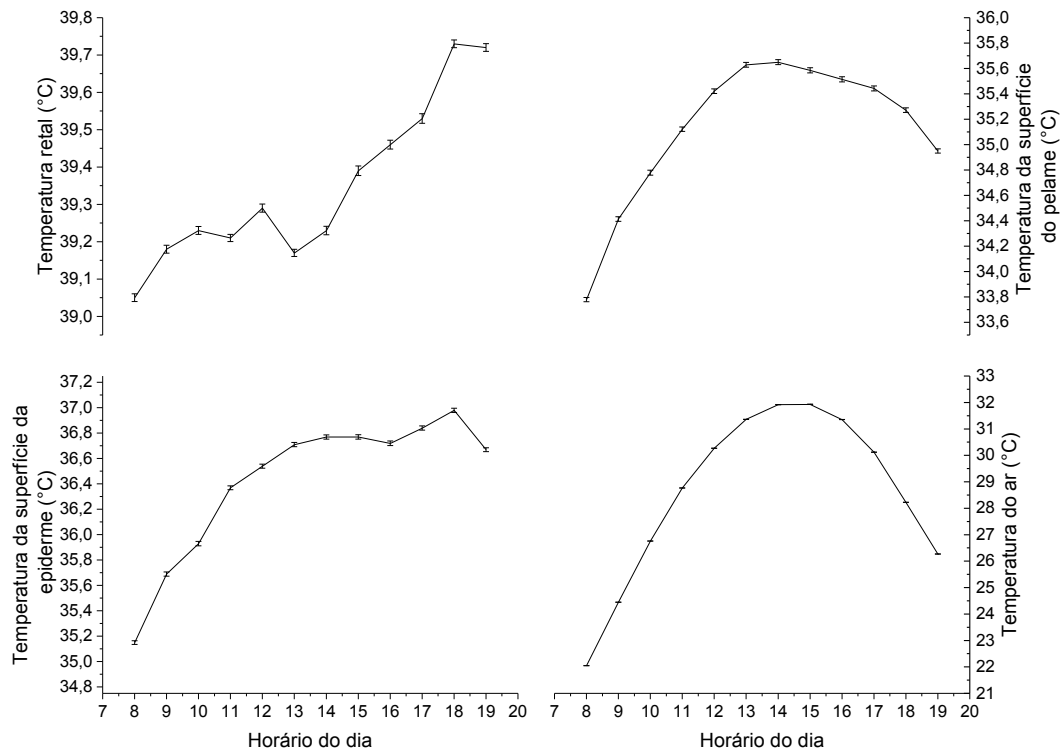


Figura 3 – Médias ajustadas por quadrados mínimos (\pm EP) da temperatura do ar (°C), das temperaturas da superfície do pelame (°C) e epiderme (°C) e temperatura retal (°C) em função da hora do dia.

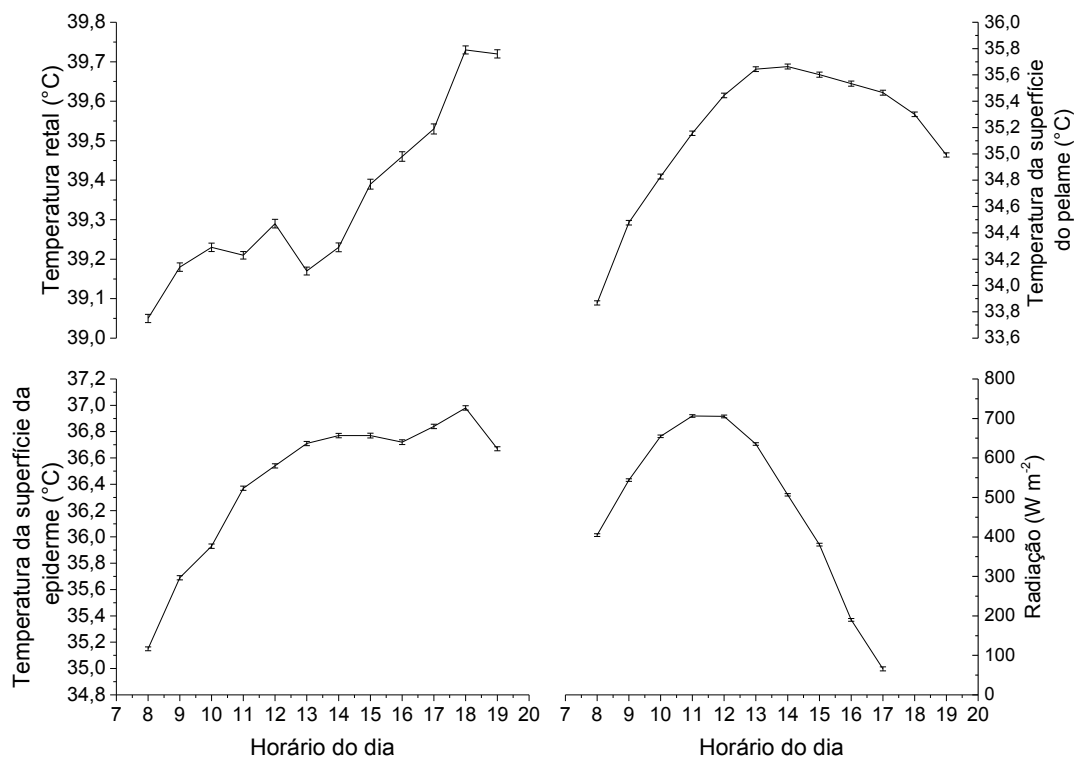


Figura 4 – Médias ajustadas por quadrados mínimos (\pm EP) da temperatura retal ($^{\circ}$ C), das temperaturas da superfície da epiderme ($^{\circ}$ C) e do pelame ($^{\circ}$ C) e radiação ($W \cdot m^{-2}$) em função da hora do dia.

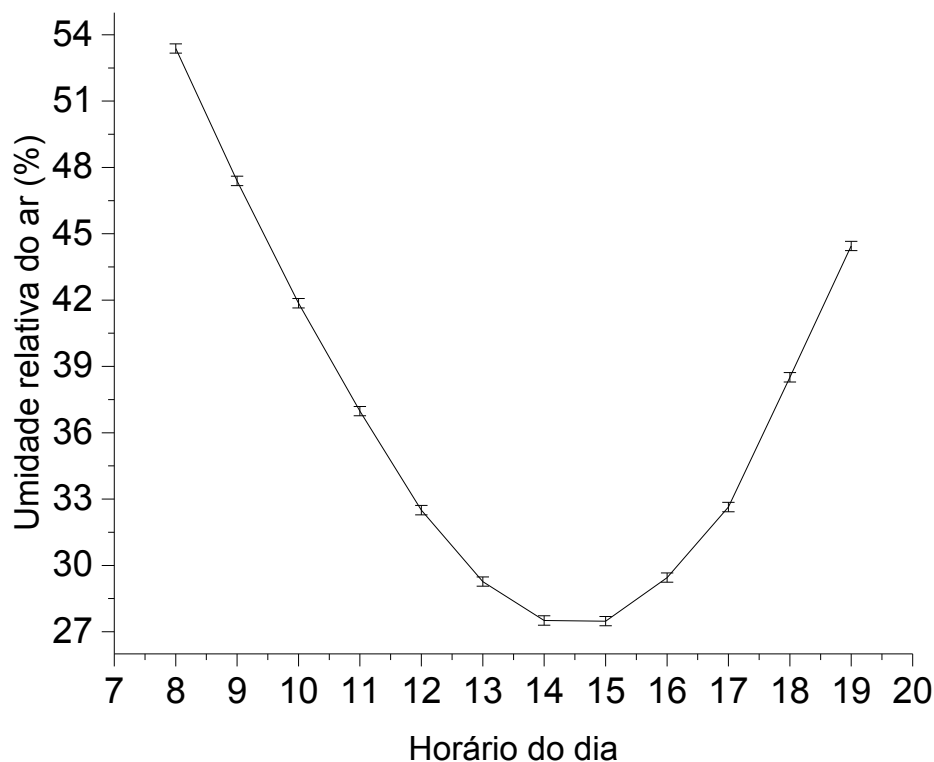


Figura 5 - Médias ajustadas por quadrados mínimos (\pm EP) da umidade relativa do ar (%) em função da hora do dia.

A temperatura da superfície do pelame apresentou correlação com a temperatura do ar de 0,82 ($P < 0,01$; Fig. 5). De acordo com Silva (2000) a superfície pelame apresenta a temperatura com maior variação, pois está mais susceptível a influência do ambiente externo. A média geral para temperatura da superfície do pelame foi de $35,70 \pm 1,00$ °C. Martello et al.; (2004) ao avaliarem a temperatura da superfície do pelame de vacas holandesas alojadas em instalações climatizadas, verificaram que a temperatura da superfície do pelame pode variar de 31,6 a 34,7 °C entre as 06:00 até às 13 horas, sem indicar estresse térmico.

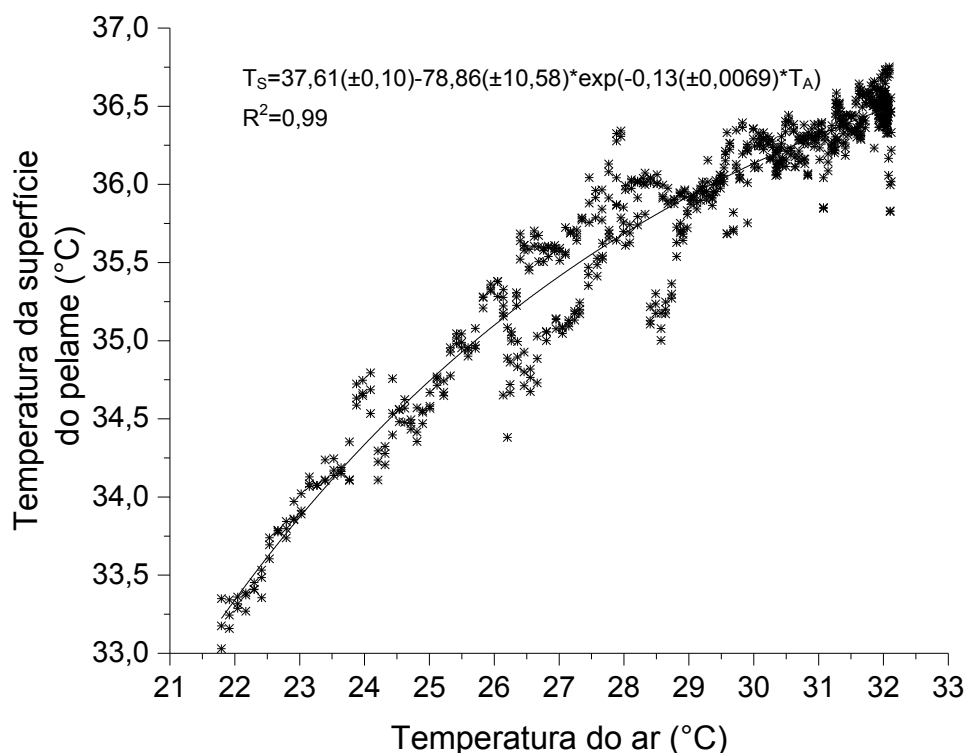


Figura 6 – Temperatura da superfície do pelame (T_S , °C) em bovinos de leite da raça Jersey em função da temperatura do ar (°C), $\sigma_e^2 = 0,064$.

Elevação da frequência respiratória é uma das primeiras respostas visíveis à elevação da temperatura do ar. Como consequência desta relação, a frequência respiratória apresentou correlação positiva com a temperatura do ar 0,35 ($P < 0,01$; Fig. 6). Observa-se ainda grande variação das mensurações de frequência respiratória, indicando que seu aumento motivado pelo aumento da temperatura está condicionado à variação individual dos animais de uma dada população. Ademais, segundo Martello (2006) a frequência respiratória depende principalmente do período do dia, da temperatura ambiente e o nível de produção animal. No entanto, a frequência respiratória teve pouca variação, ao longo do dia, com maior média às 14:00 horas ($40 \pm 0,20$ resp. min^{-1}) e menor às 9:00 horas ($32 \pm 0,18$ resp. min^{-1}). Os valores de frequência respiratória observados neste trabalho permaneceram dentro da faixa considerada normal para vacas leiteiras que é de 18 a 60 resp. min^{-1} (HAHN et al., 1997; MARTELLO et al., 2004). Eigeberg et al (2008) consideram que bovinos

com frequência respiratória de até 85 resp.min⁻¹ encontram-se em condições normais de conforto. No entanto, para Gebremedhin et al., (2007) e Mellace (2009) animais com frequência respiratória de 80 a 90 resp.min⁻¹ já evidencia animal sob condições de estresse calórico.

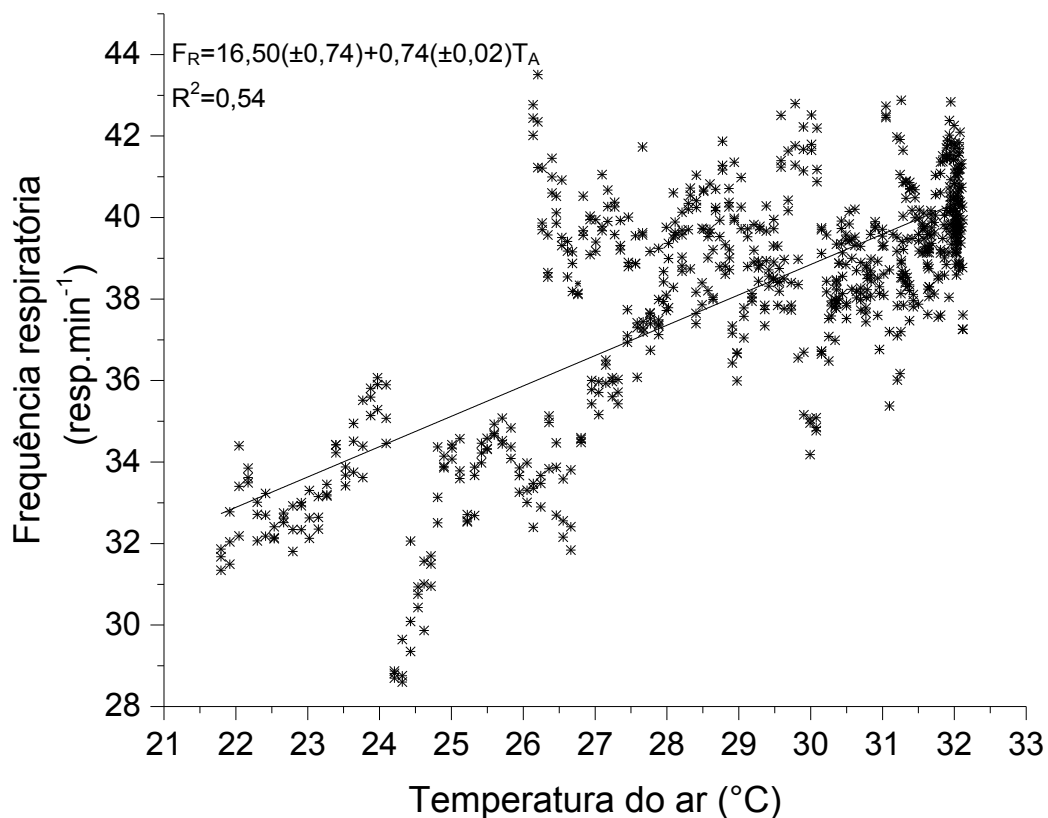


Figura 7 – Frequência respiratória (resp. min⁻¹) em bovinos de leite da raça Jersey em função da temperatura do ar (°C), $\sigma^2_e = 3,77$.

A perda de calor via evaporação respiratória apresentou uma correlação positiva com a temperatura do ar de 0,71 ($P < 0,01$) (Fig. 7). Sendo a maior média encontrada às 13:00 horas ($30,38 \pm 0,33 \text{ W m}^{-2}$) e a menor em torno das 8:00 horas ($12,63 \pm 0,29 \text{ W m}^{-2}$). De acordo com Maia et al (2005a), perdas por evaporação respiratória aumentam com o aumento da temperatura do ar de forma quase linear até 20 °C, mas torna-se mais elevada quando a temperatura do ar se eleva acima de

25°C; comportamento similar ao observado no presente estudo. Maia et al (2005a) ainda verificaram que para vacas Holandesas a perda de calor por evaporação respiratória aumentou de 1,03 para 56,51 W m⁻² com o aumento da temperatura de 10 para 35°C. Assim, podemos observar que em ambiente tropical a perda de calor latente por evaporação respiratória é muito mais importante do que a perda sensível por convecção respiratória como já descrito por (MAIA, 2005).

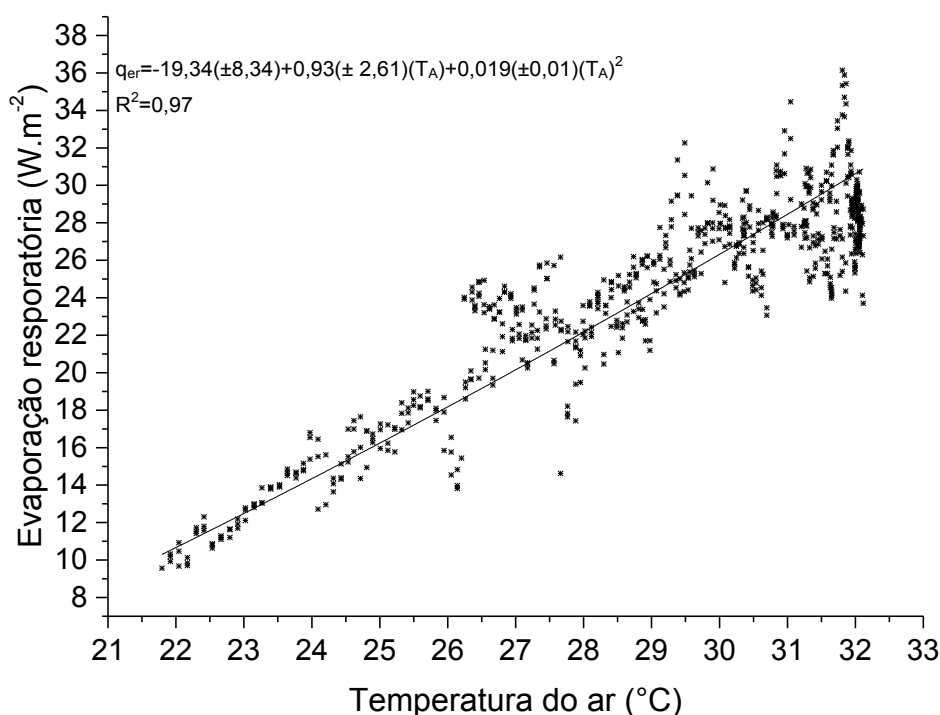


Figura 8 - Perda de calor por evaporação respiratória (W m⁻²) em bovinos de leite da raça Jersey em função da temperatura do ar (°C), $\sigma_e^2 = 4,88$.

A perda de calor via evaporação respiratória correlacionou-se negativamente à umidade relativa, apresentando coeficiente de correlação de -0,51 ($P < 0,01$; Fig. 8). De acordo com Castanheira (2009), em ambiente com baixa umidade relativa do ar e temperatura elevada, a evaporação se processa muito rápido, podendo causar irritação na pele e desidratação na pele no animal. No entanto, em ambientes quentes e úmidos a evaporação se processa lentamente limitando a capacidade de perda de calor, pondo em risco o equilíbrio térmico dos animais (CASTANHEIRA, 2009). De acordo com Maia (2005) a evaporação respiratória depende em parte da

quantidade de vapor presente no ar atmosférico, ou seja, um aumento na umidade, teoricamente reduzirá o processo evaporativo, devido à redução do gradiente de pressão de vapor.

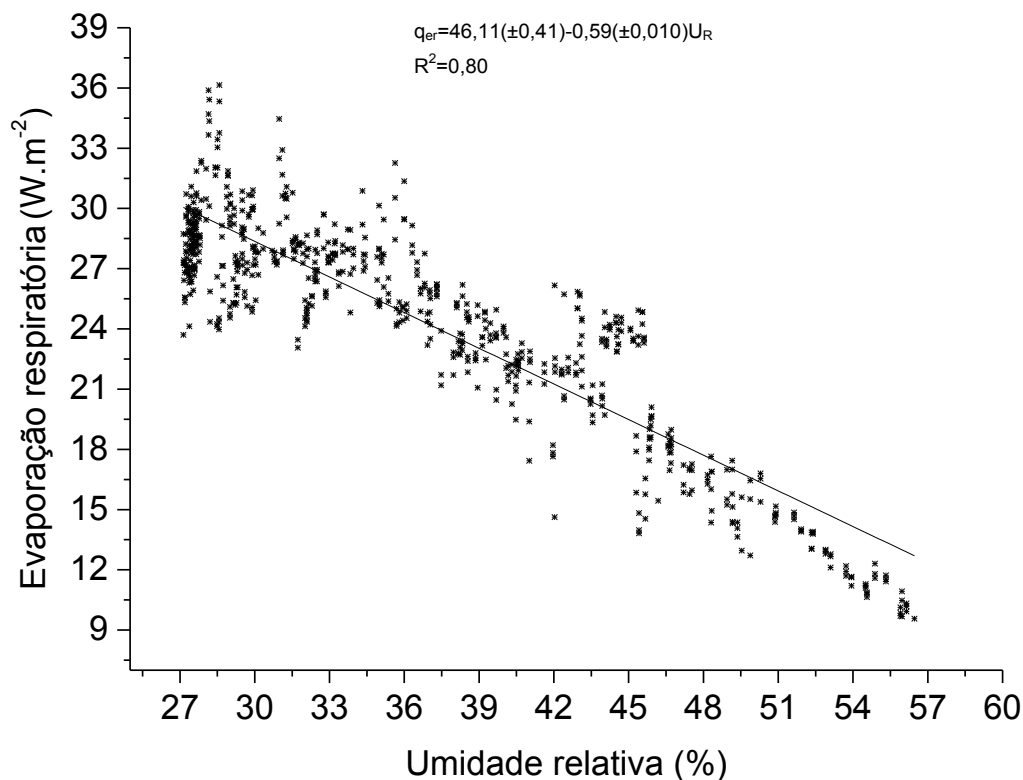


Figura 9 - Perda de calor por evaporação respiratória ($W m^{-2}$) em bovinos de leite da raça Jersey em função da umidade relativa do ar (%), $\sigma_e^2=5,61$

Ao longo do período de coleta de dados podemos relacionar a variação da temperatura do ar expirado em função da temperatura do ar (Fig. 9), onde foi observado um coeficiente de correlação de 0,92 ($P < 0,01$). Observamos um aumento linear ($R^2=0,95$), entre as variáveis estudadas, com um crescente da temperatura do ar expirado com o aumento da umidade relativa do ar.

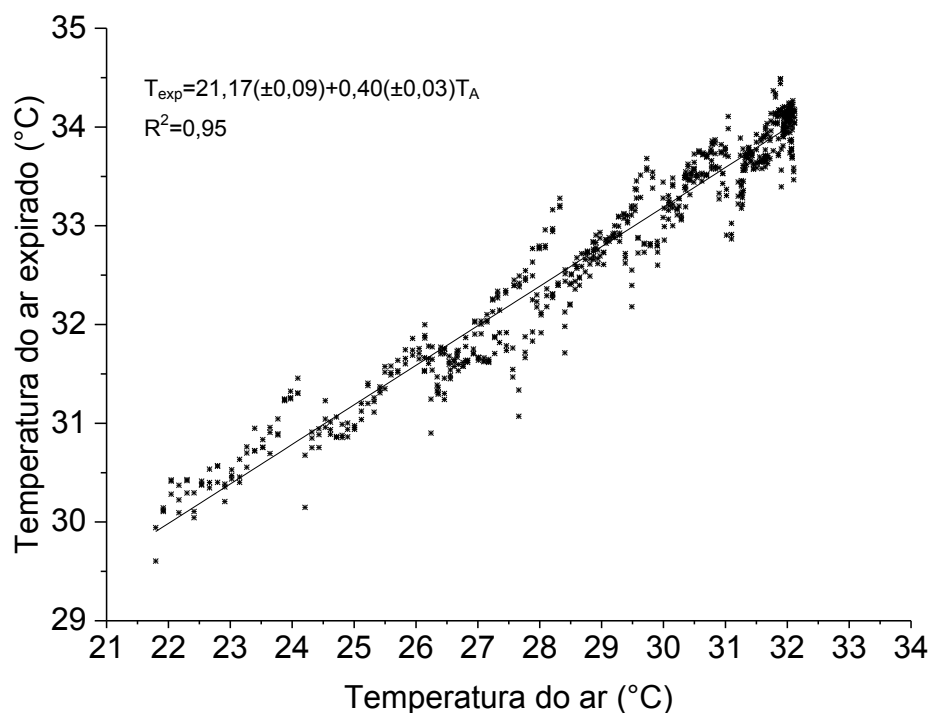


Figura 10 - Temperatura do ar expirado (°C) em bovinos de leite da raça Jersey em função da temperatura do ar (°C), $\sigma^2_e=0,063$.

Observou-se alta correlação negativa entre as perdas de calor via mecanismos sensíveis -0,96 ($P < 0,01$), (Convecção e radiação) e temperatura do ar. Onde pode se observar maiores perdas de calor nas primeiras horas do dia e ao final do dia (Fig. 10), sendo estes os horários com menor temperatura do ar, ou seja, maior gradiente de temperatura, favorecendo as perdas de calor entre o animal e o meio. Verificou-se correlação positiva 0,71 ($P < 0,01$) entre perda de calor via evaporação respiratória e a temperatura do ar. Nos horários de maior temperatura, pode-se observar que, devido o menor gradiente de temperatura, o mecanismo de perda calor latente passou a ser a principal via para a termólise dos animais. No presente trabalho a temperatura do ar teve média de $28,99 \pm 3,10$, ou seja, de acordo Martello (2006) faixa considerada acima da zona de conforto térmico para bovinos de leite que é 27°C .

A produção de calor metabólico apresentou uma correlação positiva com a temperatura do ar 0,35 ($P < 0,01$) se elevando ao longo do dia, com um ligeiro decréscimo entre as classes de hora 13 a 15 horas, tornando a se elevar até o final do período de coleta de dados às 20 horas. Quando a exposição ao calor é prolongada taxa metabólica diminui, aumentando assim tolerância ao estresse térmico. Esta diminuição é associada com uma diminuição na ingestão de alimentos e da atividade da glândula da tireoide (MACFARLANE, 1981; McARTHUR, 1987). Worstell e Brody (1953) mantiveram animais da raça Jersey por cerca de duas semanas em diferentes temperaturas do ar em uma câmara climática. Eles verificaram que a taxa metabólica (e ingestão de alimentos) das vacas Jersey diminuiu de 170 W m^{-2} a uma temperatura do ar de $15 \text{ }^\circ\text{C}$ para cerca de 110 W m^{-2} a uma temperatura de $40 \text{ }^\circ\text{C}$.

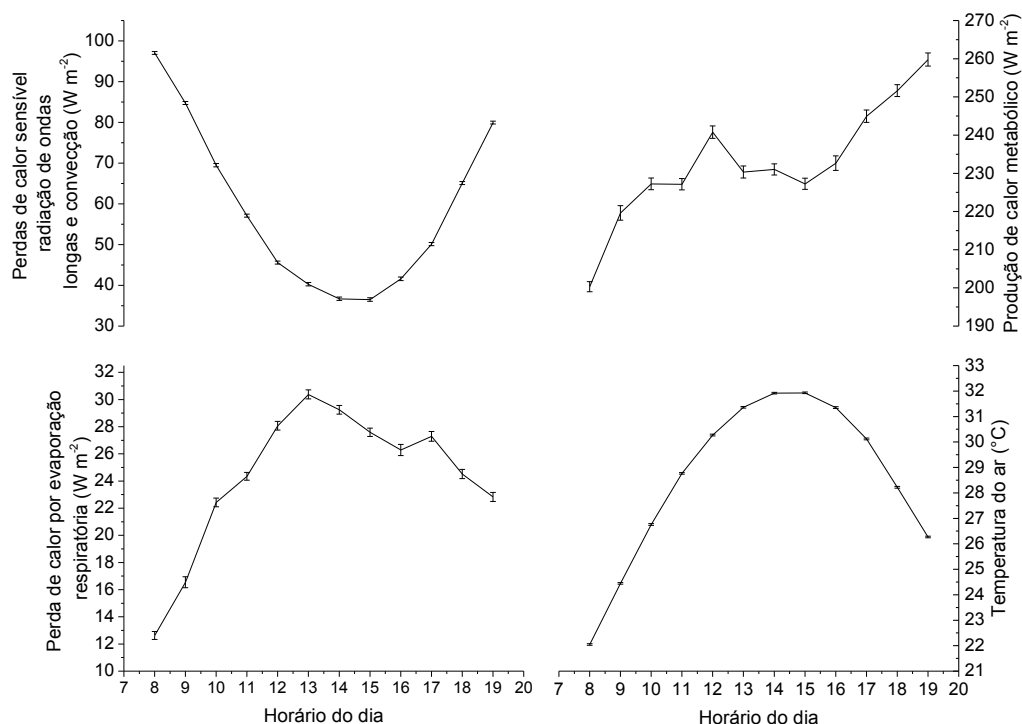


Figura 11 - Perdas de calor por convecção (W m^{-2}), radiação de ondas longas (W m^{-2}) evaporação respiratória (W m^{-2}) e produção de calor metabólico (W m^{-2}) em vacas de leite da raça Jersey em função do horário do dia.

O efeito da hora do dia foi significativo ($P < 0,01$) para produção de calor metabólico e emissão de CH_4 entérico (Fig.11). A correlação entre a emissão de CH_4 e a produção de calor metabólico foi de 0,23 ($P < 0,01$). Maior emissão de CH_4 , ocorreu antes às 09:00 horas do dia com média de $11,76 \text{ g} \cdot \text{h}^{-1} \text{ animal}^{-1}$. A maior emissão de CH_4 nestes horários pode ser devido ao fato de se tratar de horários subsequentes aos períodos de maior ingestão de alimentos, já que os animais tinham acesso a dieta a partir das 07:00 horas. Johnson et al., (1994), observaram que picos de emissão de CH_4 ocorreram nas horas após a alimentação, o que é confirmado no presente trabalho tanto no período matutino, quanto no período de alimentação vespertina.

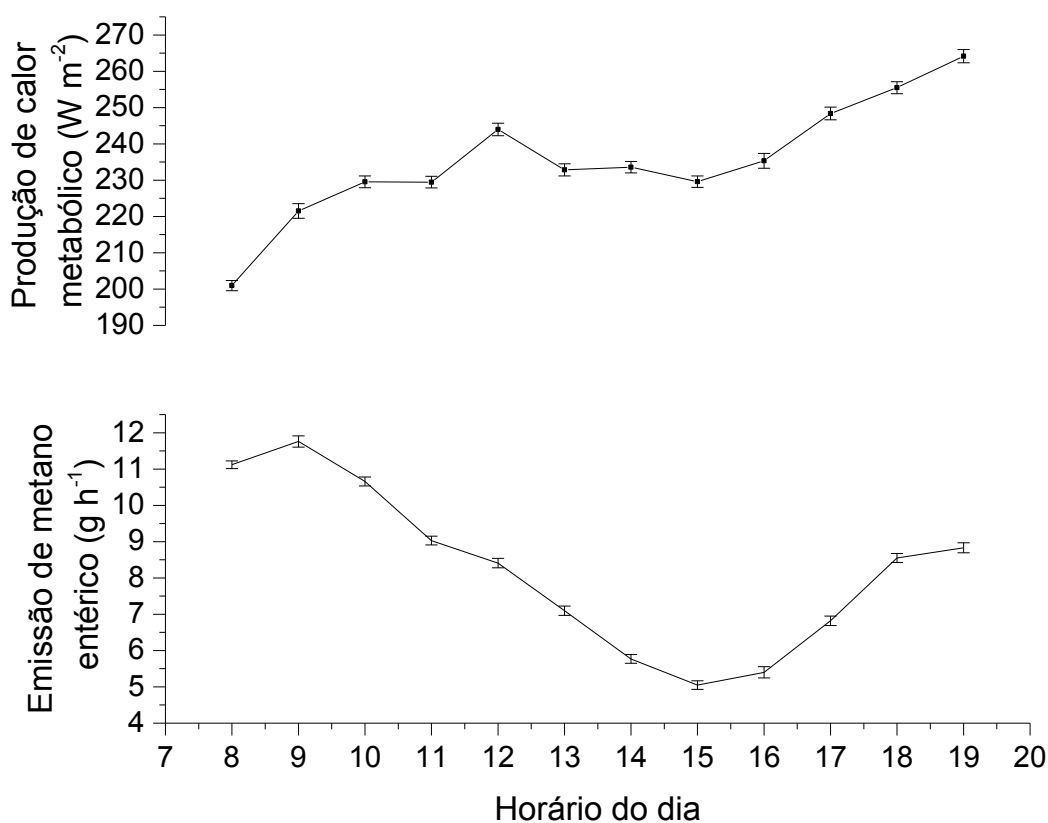


Figura 12 - Médias estimadas por quadrados mínimos ($EP \pm$) da produção de calor metabólico (W m^{-2}) e emissão de metano entérico ($\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$) em vacas da raça Jersey em função da hora do dia.

A temperatura do ar e a emissão de CH_4 apresentaram forte correlação negativa (Fig. 12) $-0,60$ ($P < 0,01$). Costa (2013) avaliando bovinos Nelores

submetidos a ambiente com sombra e exposição à radiação solar, relatou que ocorreu decréscimo na emissão de CH₄ nos animais manejados expostos à radiação solar direta.

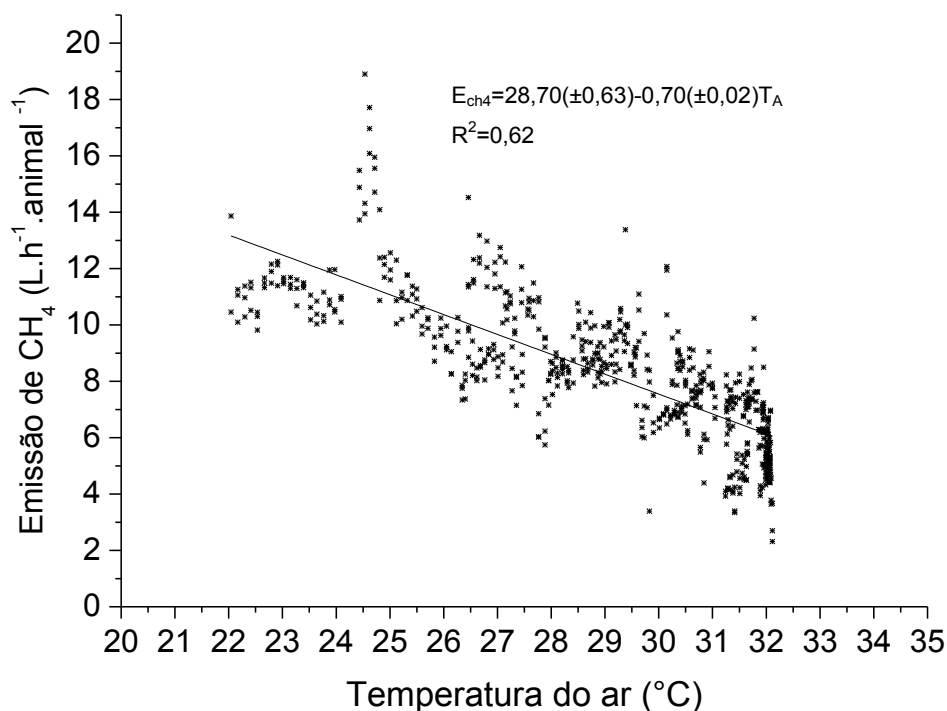


Figura 13 - Emissão de metano (g.h⁻¹) por bovinos de leite da raça Jersey em função da temperatura do ar (°C), $\sigma_e^2 = 2,30$.

As correlações entre a emissão de metano com a temperatura do ar (-0,60), e umidade relativa do ar 0,67 (P < 0,01) indicam que o ambiente influencia na quantidade de CH₄ (Tab. 4). Correlações significativas e negativas também foram observadas entre a emissão de metano e as temperaturas das superfícies da epiderme -0,49 (P < 0,01) e pelame -0,54 (P < 0,01).

6. CONCLUSÃO

As condições meteorológicas (temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação) nas quais os animais foram avaliados durante o período do dia, não acarretou alterações nas variáveis fisiológicas dos animais, como por exemplo na frequência respiratória.

Pode se observar também que a emissão de metano é diretamente correlacionada com os horários de alimentação dos animais ocorrendo picos de emissão posteriormente cada horário de trato e quedas na emissão durante os intervalos de trato.

No presente trabalho foi reportado somente dados das avaliações durante o período do dia, o qual ainda falta integralizar junto ao mesmo os dados das condições noturno em que os animais foram avaliados. Onde será possível melhor elucidar e avaliar a produção de calor metabólico, emissão de metano entérico e perdas evaporativas, pois serão dados de um dia completo de avaliação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUERRE, M. J.; WATTIAUX, M. A.; POWELL, J. M.; BRODERICK, G. A.; ARNDT, C. Effect of forage to-concentrate ratio in dairy cow diets on emission of methane, carbon dioxide, and ammonia, lactation performance, and manure excretion. **Journal of dairy science**, New York, v. 94, p. 3081–3093, 2011.

ALLEN, J. D.; HALL, L. W.; COLLIER, R. J.; SMITH, J. F. Effect of core body temperature, time of day, and climate conditions on behavioral patterns of lactating dairy cows experiencing mild to moderate heat stress. **Journal of dairy science**, New York, v. 98, 118-127, 2015.

ANUALPEC. Anuário da pecuária brasileira. São Paulo: Informa Economics FNP, 2014. p. 357.

BACCARI, F.JR.; CAMPOS NETO, O.; ROCHA, G.P. Variação fisiológica da temperatura retal das 8 às 18 horas em bovinos holandeses – correlação com a temperatura ambiente e hora do dia. In: Jornada Científica da Associação dos Docentes do Campus de Botucatu, Botucatu, 1979. **Anais...Botucatu**, p.5-8. 1979.

BAÊTA FC.; SOUZA C.F. Ambiência em edificações rurais - **Conforto animal**. Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa; 1997.

BARBOSA, O.R.; BOZA, P.R.; SANTOS, G. T.; SAKAGUSHI, E.S.; RIBAS, P. Efeitos da sombra e da aspersão de água na produção de leite de vacas holandesas durante o verão. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**. Maringá, v.26, no.1, p.115-122, 2004.

BERTIPAGLIA, E. C. A. Desempenho reprodutivo, características do pelame e taxa de sudorese em vacas da raça Braford. **Revista Brasileira de Zootecnia**. Viçosa, v. 37, n. 9, Setembro. 2008. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516982008000900008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 28 Janeiro. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982008000900008>.

BILBY, T.R, TATCHER, W.W, HANSEN, P.J. Estratégias farmacológicas, nutricionais e de manejo para aumentar a fertilidade de vacas leiteiras sob estresse térmico. In: **Anais do 13º Curso Novos Enfoques na Produção e Reprodução de Bovinos**; 2009, Uberlândia. Uberlândia: Conapec Jr; 2009. p.59-71.

Bitman J.; Lefcourt A.; Wood, D.L.; Stroud, B. Circadian and ultradian temperature rhythms of lactating dairy cows. **Journal of dairy Science**, New York, v. 67, p-1014–1023, 1984

Boletim PIB. Disponível em: http://www.canaldoprodutor.com.br/sites/default/files/02-BoletimPIB_novembro.pdf. 2014. P-1-9. Acesso em: 14/03/2015.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção–Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima**. Coordenação-Geral de Mudanças Globais do Clima. Brasília, 2010, p.520.

BRITO, H. F. V. **Determinação da taxa metabólica basal em *Dasyprocta azarae* por calorimetria indireta**. 2004, 46 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2004.

BROUWER, E.; BLAXTER, K.L. **In Energy Metabolism**. London: Academic Press. p.441, 1965.

BRUCE, J. M.; CLARK, J. J. Models of heat production and critical temperature for growing pigs. **Animal Production**, Clayton v.28, p. 353-369, 1979.

CASTANHEIRA, M. **Análise multivariada de características que influenciam a tolerância ao calor em equinos, ovinos e bovinos**. 2009, 99 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal). Universidade Federal de Goiás. Escola de Veterinária, Goiânia, 2009.

ÇENGEL, Y. A. Equação de condução de calor. In: _____. (Ed.). **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. São Paulo: McGraw-Hill, 2009, p.62-113.

ÇENGEL, Y. A. Fundamentos da convecção. In: _____. (Ed.). **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. São Paulo: McGraw-Hill, 2009, p.356-390.

CERUTTI, W.G.; BERMUDES, R.F.; VIÉGAS, J.; MARTINS, C. M.M.R. Respostas fisiológicas e produtivas de vacas Holandesas em lactação submetidas ou não a sombreamento e aspersão na pré-ordenha. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**. Salvador, V. 14, n.3, p. 406-412, 2013.

CORREA-CALDERON, A.; AMSTRONG, D; RAY, D; DENISE, S; ENNS, M; HOWISON, C. Thermoregulatory responses of Holstein and Brown Swiss Heat-Stressed dairy cows to two different cooling systems. **International Journal of Biometeorology**. Heidelberg, v.48, p.142–148, fevereiro, 2004.

COSTA, C. C. M. **Efeito da radiação solar e temperatura na emissão de metano associado à produção e perda de calor em bovinos**. 2013. 56 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

CURRIE, E.; JAMES, J.; WHYTOCK, J.; CARTY, L.; WICK, S. Economic Analysis of Dairy Breeds: Which Breed is the Best, 2014, University of Guelph. Disponível em: <http://gadojerseybr.com.br/qual-raca-e-a-melhorraca>. Acesso em: 04/02/15.

DIENER, J.R.C. Calorimetria indireta. **Revista da Associação Médica Brasileira**, São Paulo v.43, n.3, 245-53, 1997.

EIGENBERG, R. A. HAHN, G. L. NIENABER, J. A. BROWN-BRANDL, T. M. SPIERS, D. E. Development of a new respiration rate monitor for cattle. **Transactions of the ASAE**, St Joseph American Society of Agricultural Engineers. v. 43, n.3. 2000.

FERREIRA, F.; PIRES, M.F. A.; MARTINEZ, M.L.; COELHO, S.G.; CARVALHO, A.U.; FERREIRA, P.M.; FACURY FILHO, E.J.; CAMPOS, W.E. Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. Belo Horizonte v.58, n.5, p.732-738, Outubro, 2006.

FINCH, V. A.; BENNETT, I. L.; HOLMES, C. R. Sweating response in cattle and its relation to rectal temperature, tolerance to sun and metabolic rate. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 99, p. 479-487, 1982.

FONSECA, P. H. S. **Validação de equações de predição da taxa metabólica de repouso em adolescentes**. 2007,166 f. Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação (Mestrado em Educação Física), Florianópolis – SC, 2007.

Gebremedhin, K. G.; Hillman, P. E.; Lee, C. N.; Collier, R. J.; Willard, S. T.; Arthington, J. D.; Brown-Brandl, T. M. Sweating rates of dairy cows and beef heifers in hot conditions. **Transaction of the ASABE**, St Joseph v. 51 n.6, 2167-2178, 2008.

GEBREMEDHIN, K.G.; HILLMAN, P.E.; LEE, C.N.; COLLIER, R.J. Sweating rate of dairy cows under shade and sunny environments. p.17-20, 2007. Disponível em: <http://elibrary.asabe.org/azdez.asp?JID=5&AID=23261&CID=min2007&v=&i=&T=1&refer=7&access=&dabs=Y>. Acesso em 11/05/2015.

GEBREMEDHIN, K.G.; BIXIN, W. A model of evaporative cooling of wet skin surface and fur layer. **Journal of Thermal Biology**, Kidlington v.26, n.6, p.537-545, 2001.

GEBREMEDHIN, K.G.; BIXIN, W. Simulation of sensible and latent heat losses from wet-skin surface and fur layer **Journal of Thermal Biology**, Kidlington, v.27, p.291-297, 2002.

HAHN, G. L., PARKHURST, A. M.; GAUGHAN, J. B. Cattle respiration rate as a function of ambient temperature. **ASAE**. St. Joseph, Mich. p.97-121. 1997.

HAMMARLUND K, RIESENFELD T, SEDIN G. Measurement of respiratory water loss in newborn lambs. **Acta Physiologica Scandinavica**, Chichester v.127, n.1, p.61-65, Maio, 1986.

HARVEY, W,R, Least-Squares analysis of data with unequal subclass numbers. Beltaville: **U.S.D.A**, publicação, nº 20-8, 1960.

HEAD, H. H. The strategic use of the physiological potential of the dairy cow. In: SIMPÓSIO LEITE NOS TRÓPICOS: novas estratégias de produção, 1., 1989, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP, 1989. p. 38-89.

IBGE 2014. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <http://IBGE.gov.br>. Acesso em 5 de Janeiro de 2015.

INCROPERA, F. P.; DeWitt, D. P.; Bergagman, T. L.; Lavine, A. S. Condução unidimensional em regime estacionário. In:_____. (Ed.). **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. Rio de Janeiro: LTC, 2013, p. 63-102.

INCROPERA, F. P.; DeWitt, D. P.; Bergagman, T. L.; Lavine, A. S. Introdução à convecção. In:_____. (Ed.). **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. Rio de Janeiro: LTC, 2013, p. 221- 243.

INCROPERA, F. P.; DeWitt, D. P.; Bergagman, T. L.; Lavine, A. S.. Radiação e propriedades. In:_____. (Ed.). **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. Rio de Janeiro: LTC, 2013, p. 460- 490.

INCROPERA, F. P.; DeWitt, D. P.; Bergagman, T. L.; Lavine, A. S. Transferência de massa por difusão. In:_____. (Ed.). **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. Rio de Janeiro: LTC, 2013, p. 560- 580.

JOHNSON, K., HUYLER, M., WESTBERG, H., LAMB, B.; ZIMMERMAN, P.. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF6 tracer technique. **Environmental Science and Technology**, Washington, v.28: n.2, p.359–362, 1994.

JOHNSON, K. A.; JOHNSON, D. E. Methane emissions from cattle. **Journal Animal Science**, Champaing, v.73: p.2483–2492, 1995.

KLEIBER, M. **Bioenergética animal**. Zaragoza: Acribia, 1972, 428p.

LAVOISIER, A. L.; LAPLACE, P. S. M. *Mémoire sur la Chaleur*. Mémoires de L'Académie des Sciences, Paris, p.283-333, 1780.

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

LIMA, I.A.; AZEVEDO, M.; BORGES, A.C.R.; FERREIRA, M. A.; GUIM, A.; ALMEIDA, G.L.P. Thermoregulation of Girolando cows during summertime, in Pernambuco State, Brazil. **Acta Scientiarum Animal Sciences**. Maringá, v.35, n.2, p. 193-199, Apr.-June, 2013.

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

LOCKYER, D.R. CHAMPION. R.A. Methane production by sheep in relation to temporal changes in grazing behavior. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.86, n.3, p. 237–246, Setembro, 2001.

MCALLISTER, T. A.; OKINE, E. K.; MATHISON, G. W.; CHENG, K. J. Dietary environmental. and microbiological aspects of methane production in ruminants. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa v.76, n.2, p.231-243, 1996.

MARTHUR, A. J. Thermal interaction between animal and microclimate: a comprehensive model. **Journal of theoretical biology**, London, v. 126, n. 2, p. 203-238, 1987.

MCDOWELL, R. E.; LEE, D.H.K.; FOHRMAN, M. H. The measurement of water evaporation from limited areas of a normal body surface. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 13, n. 2, p. 405-416, 1954.

MCDOWELL, R. E. Bases biológicas de la producción animal en zonas tropicales. Zaragoza: **Acribia**, 1975. 692p.

MACFARLANE, W. V. The housing of large mammals in hot environments. In **Environmental aspects of housing for animal production**. p. 259-284, 1981.

MCLEAN, J. A. The partition of insensible losses of body weight in heat from cattle under various climatic conditions. **Journal of Physiology**, Issy les Moulineaux, v. 167, p. 427-447, 1963.

MACRAE, J.C.; LOBLEY, G.E. Some factors which influence thermal energy losses during the metabolism of ruminants. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v.9, n.4, p.447-456, 1982.

MAGALHÃES, S.; ALBUQUERQUE, R.R.; PINTO, J.C.; MOREIRA, A.L. **Termorregulação**. Faculdade de Medicina da Universidade do Porto Serviço de Fisiologia, 2001, 20p.

MAIA, A. S. C. Transferência de calor latente e sensível em vacas Holandesas em ambiente tropical. 2005. 94 f. **Tese (Doutorado em Zootecnia)** – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2005.

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

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

MAIA, A.S.C.; SILVA, R.G.; BERTIPAGLIA, E.C.A. Environmental and genetic variation of the effective radiative properties of the coat of Holstein cows under tropical conditions. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v.92, n.3, 307–315, Março, 2005c.

MARTELLO, L.S. **Interação animal-ambiente efeito do ambiente climático sobre as respostas fisiológicas e produtivas de vacas Holandesas em free-stall**. 2006, 106f. Pirassununga. Tese (Doutorado em Zootecnia). Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos - Universidade de São Paulo, 2006.

MARTELLO, L.S.; SAVASTANO JR.; H.; SILVA, S.L.; TITTO, E.A.L. Respostas fisiológicas e produtivas de vacas holandesas em lactação submetidas a diferentes ambientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.33, n.1, p.3-11, 2004.

MELLACE, E.M. **Eficiência da área de sombreamento artificial no bem-estar de novilhas leiteiras criadas a pasto**. 2009, 95f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2009.

Mota, F.S. **Climatologia zootécnica**. Pelotas: Edição do autor. 2001.

MOTA, L.S. **Adaptação e interação genótipo-ambiente em vacas leiteiras**. 1997. 69f. Tese (Doutorado em Ciências) - Curso de Pós-graduação em Biologia Comparada, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo. 1997.

MULLER, P.B. 1982. Bioclimatologia aplicada aos animais domésticos. 2ª ed. Porto Alegre: Sulina, p. 71-80., 1982.

OLIVEIRA, S.E.O.; COSTA, C.C.M.; JR SOUZA, 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 and Production**, Dordrecht, v.46, n.14, p.413–417, 2014.

OLIVEIRA, A. L. **Mecanismos termorreguladores de cabras da raça saanen**. Tese (Doutorado em Zootecnia). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2007.

OLIVEIRA, P.P.A, et al. Emissão de gases nas atividades pecuárias. II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais – II **SIGERA** 15 a 17 de março de 2011 - Foz do Iguaçu, PR Volume I.

OLIVEIRA, C.H.S. Monitorização da Temperatura. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, Rio de Janeiro, v.42, n.1, Janeiro –Fevereiro, p. 79 – 84, 1992.

PEDREIRA, M.S.; OLIVEIRA, S.G.; BERCHIELLI, T.T.; PRIMAVESI, O. Aspectos relacionados com a emissão de metano de origem ruminal em sistemas de produção de bovinos. **Archives of Veterinary Science**, Curitiba, v. 10, n. 3, p. 24-32, 2005.

PEREIRA, P. A. C. **Relação entre Problemas Reprodutivos e Eficiência Reprodutiva comparada por Diferentes Métodos em Rebanhos Bovinos Leiteiros**. 2009. 34 p. Tese (doutorado em Ciência Animal) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária. Belo Horizonte-MG, 2009.

PINARELLI, C. The effect of heat stress on milk yield. **Latte**, Milan, v. 28, n. 12, p. 36-38, 2003.

PIRES, M. F. A.; CAMPOS, A. T. Relação dos dados climáticos com o desempenho animal. **Dados climáticos e sua utilização na atividade leiteira**. 1. ed. Juiz de Fora: CNPGL, 2003. v.1, p. 250.

PORCIONATTO, M.A.F.; FERNANDEZ, A.M.; SARAN, N.A.; SANTOS, M.V. Influência do estresse calórico na qualidade e na produção de leite. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v.7, p.483-90, 2009.

REIS e SILVA, R. **Respirometria e determinação das exigências de energia e produção de metano de fêmeas bovinas leiteiras de diferentes genótipos**. 2011. 61f. Tese (Doutorado em Zootecnia) Universidade Federal De Minas Gerais Escola de Veterinária. Belo Horizonte. Escola de Veterinária – UFMG, 2011.

ROBERTSHAW, D. Regulação a temperatura e o ambiente térmico. In: Dukes, **Fisiologia dos animais domésticos**, 12.ed. Rio de Janeiro. Guanabara. Koogan, 2006. p.897-908.

SCHMIDT-NIELSEN, K. Respiração. In: _____. (Ed.). **Fisiologia animal: adaptação e ambiente**, 5th ed. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2013. P. 5-64.

SEJIAN, V.; LAL, R.; LAKRITZ, J.; EZEJI, T. Measurement and prediction of enteric methane emission. **International Journal of Biometeorology**, Heidelberg, v. 55, p. 1-16, 2011.

Silva, R. G.; MAIA, A. S. C. Basic Physical Mechanisms. In: _____. (Ed.) 1. **Principles of animal biometeorology**. New York: Springer, 2013. p. 39-74.

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

SILVA, R.G.; MAIA, A.S.C. Evaporative cooling and cutaneous surface temperature of Holstein cows in tropical conditions. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.40, n.5, p.1143-1147, 2011.

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

SILVA, R.G. **Biofísica ambiental**. Os animais e seu ambiente. Jaboticabal: FUNEP, Jaboticabal, 16-17p., pag.66, 2008.

SILVA, R.G.; MORAIS, D.A.E.F.; GUILHERMINO, M.M.; MORAIS. Evaluation of thermal stress indexes for dairy cows in tropical regions. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.36, n.4, p.1192-1198, 2007.

SILVA, R. G. **Introdução à Bioclimatologia Animal**. São Paulo: Nobel/FAPESP, 2000a, 379p.

SILVA, R.G. Um Modelo para a Determinação do Equilíbrio Térmico de Bovinos em Ambientes Tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa v.29 n.4, p.1244-1252, 2000b.

SILVA, R. G. Estimativa do balanço térmico por radiação em vacas Holandesas expostas ao sol e á sombra em ambiente tropical. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1403-1411, 1999.

SILVA, J.C.P. M; VELOSO, C.M. Raças de Gado Leiteiro. Viçosa-MG. **Editora Aprenda Fácil**. 1º edição. p.26-34. 2011.

SOUZA, B.B.; BATISTA, N.L. Os efeitos do estresse térmico sobre a fisiologia animal. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Campina Grande, v.8, n.3, p.06-10, 2012.

STEVENS, DG. A model of respiratory vapor loss in Holstein dairy cattle **Transactions of the ASAE**. St Joseph, v.24, p.151–158, 1981.

ST-PIERRE, N. R.; COBANOV, B.; SCHNITKEY, G. Economic losses from heat stress by US livestock industries. **Journal of Dairy Science**, New York, v.86, p.52-77, 2003.

ST-PIERRE, N.R. Reassessment of Biases in Predicted Nitrogen Flows to the Duodenum by NRC 2001. **American Dairy Science Association**, New York, v.86, n.1, p.344-350, Janeiro, 2003.

THOMPSON, HJ.; WORSTELL, DM.; BRODY. S. Environmental physiology and shelter engineering. XXIII. The effect of humidity and insensible weight loss, total vaporized moisture, and surface temperature in cattle. **University Of Missouri College Of Agriculture Agricultural Experiment Station**. p1-19, 1953. Disponível em:

file:///C:/Users/Marcos/Downloads/EnvironmentalPhysiologyShelterEngrDomesticXXIII.pdf. Acesso em 14 de Junho de 2015.

TITTO, C.G. **Capacidade termolítica e respostas comportamentais e hormonais em vacas Holandesas**. 2010. 114f. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2010.

VIEIRA, S.S.; et. al. Práticas de manejo para minimizar a emissão de gases de efeito estufa associadas ou não ao uso de fertilizantes. **Instituto de Zootecnia, APTA/SAA**. Nova Odessa/SP. 45 pag. 2010.

VILELA, R. A. **Comportamento e termorregulação de vacas holandesas lactantes frente a recursos de ventilação e nebulização em estabulação livre**. 2008. 88f. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2008.

ZOTTI, C.A; PAULINO, V.T. Metano na produção animal: Emissão e minimização de seu impacto. **Instituto de Zootecnia, APTA/SAA**, p.1-24 2009. Disponível em: <http://www.iz.sp.gov.br/pdfs/1259324182.pdf>. Acesso em 12 de Junho de 2015.

WORSTELL, D. M.; BRODY, S. Environmental physiology and shelter engineering. XX. Comparative physiological reactions of European and Indian cattle to changing temperature. **University Of Missouri College Of Agriculture Agricultural Experiment Station**. p.1-42, 1953.