

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

**EFEITO DA RADIAÇÃO SOLAR E TEMPERATURA NA
EMIÇÃO DE METANO ASSOCIADO À PRODUÇÃO E
PERDA DE CALOR EM BOVINOS**

Cíntia Carol de Melo Costa

Médica Veterinária

2013

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

**EFEITO DA RADIAÇÃO SOLAR E TEMPERATURA NA
EMIÇÃO DE METANO ASSOCIADO À PRODUÇÃO E
PERDA DE CALOR EM BOVINOS**

Cíntia Carol de Melo Costa

Orientador: Prof. Dr. Alex Sandro Campos Maia

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

2013

Costa, Cíntia Carol de Melo
C837e Efeito da radiação solar e temperatura na emissão de metano
associado à produção e perda de calor em bovinos / Cíntia Carol de
Melo Costa. – – Jaboticabal, 2013
x, 56 p. ; il. 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013
Orientador: Alex Sandro Campos Maia
Coorientadora: Telma Teresinha Berchielli
Banca examinadora: Evaldo Antônio Lencioni Titto, Márcia Helena
Machado da Rocha Fernandes
Bibliografia

1. Calor metabólico. 2. Evaporação respiratória. 3. Metano. 4.
Nelore. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias.

CDU 636.2:636.085

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



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE JABOTICABAL
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

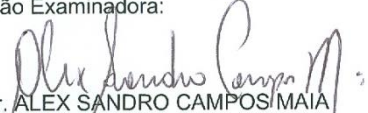
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: EFEITO DA RADIAÇÃO SOLAR E TEMPERATURA NA EMISSÃO DE METANO
ASSOCIADO À PRODUÇÃO E PERDA DE CALOR EM BOVINOS

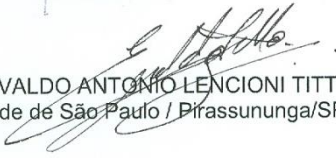
AUTORA: CÍNTIA CAROL DE MELO COSTA

ORIENTADOR: Prof. Dr. ALEX SANDRO CAMPOS MAIA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ZOOTECNIA, pela
Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ALEX SANDRO CAMPOS MAIA
Departamento de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Profa. Dra. MÁRCIA HELENA MACHADO DA ROCHA FERNANDES
Departamento de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. EVALDO ANTONIO LENCIONI TITTO
Universidade de São Paulo / Pirassununga/SP

Data da realização: 12 de dezembro de 2013.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Cíntia Carol de Melo Costa nasceu na cidade de Mossoró no estado do Rio Grande do Norte em 25 de fevereiro de 1988. Ingressou no curso de Veterinária da Universidade Federal Rural do Semi-Árido em Mossoró – RN, no segundo semestre do ano de 2006. Formou-se Médica Veterinária no ano de 2011, sendo a aluna laureada por obter melhor rendimento acadêmico de sua turma. Durante sua graduação participou do Núcleo de Biometeorologia e Bem-estar Animal, até sua formação. Foi monitora da Disciplina de Comportamento e Bem-Estar Animal desde 2008. Também foi aluna do Programa de Iniciação Científica Voluntária (PIVIC) durante os anos de 2009-2010 e 2010-2011. No ano de 2011 ingressou no Mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Zootecnia na FCAV – UNESP Jaboticabal, dedicando-se a área de Biometeorologia Animal.

"A essência do conhecimento consiste em aplicá-lo, uma vez possuído."

Confúcio

Dedicatória

Grande em todas as suas ações, lutador desde pequeno, guerreiro até os últimos dias de sua vida. Lição de vida para todos que o conheciam, pilar que sustentou os seus, farol que guiou os passos de muitos. Acima de tudo um grande ser humano, no mais puro sentido da palavra, um homem humilde, de fala mansa, olhar acolhedor e sorriso encantador. Foste cedo, mas dizem que os bons vão embora cedo, e se existe um exemplo de bondade este é o senhor, papai. Bom em cada detalhe, generoso, competente, amável, responsável, chego a me perder diante de tantos adjetivos que podem descrevê-lo. Foste único! Meu Francisco, que apesar da tradição de todo Francisco ser Chico, o senhor destoou da regra, sempre foi Francisco, ou carinhosamente Teté. Obrigada, papai, por ter sido tudo o que o senhor foi. Obrigada pela cultura que me foi passada, pela boa música, pelas histórias, pela mansidão e choro fácil. Dedico todos os dias de minha vida ao senhor, Francisco Jacinto da Costa (*in memoriam*), meu pai, meu maior ídolo, meu herói.

AGRADECIMENTOS

À Deus por ser minha força, por ter concedido a graça de renascer e por ter me segurado quando a vida quis me derrubar. Por me dar a chance de sonhar um sonho novo todos os dias, por me dar forças para recomeçar. O Teu imenso amor me manteve firme quando as dores da vida quiseram me derrubar. Obrigada, Senhor!

À minha mãe, sinônimo de alegria e força, que me deu o suporte junto com o meu amado pai. A senhora é minha luz, meu refúgio, meu orgulho. Obrigada pelo amor mais puro, pelas palavras mais doces e pela força constante. Nada disso seria possível sem a senhora. Eu te amo!

Aos meus irmãos, Caio e Ciro, por todo carinho, pela confiança depositada em mim, pela força e cuidados. Vocês são muito importantes para mim e o laço de amor que nos une é eterno. Amo vocês!

Às minhas cunhadas, Edna e Raissa, pelo amor dedicado a mim, por cuidarem do meu pai, da minha mãe e dos meus irmãos quando eu estava longe. Obrigada pela amizade e incentivo. Vocês são minhas irmãs de coração! Amo vocês!

Ao meu sobrinho, Vítor Emanuel, por ser a nossa alegria. Por ter dado dias mais alegres ao vovô e por nos fazer ainda mais unidos.

À Vaneska, por todos os cuidados, atenção e carinho. Por sempre estar disposta a me ajudar e me agradar. Obrigada por tudo, desde o primeiro dia da minha vida!

À minha avó, Maria Soares da Costa (*in memoriam*), por primeiramente junto com meu vovô Chico, ter me dado o melhor pai que poderia existir. Obrigada, vovó, por ter sido um exemplo de bondade de paciência. Por transmitir tanto amor e tanta força para todos nós. Agradeço por ter sido para toda a família um exemplo de fé e retidão. A força tão característica das mulheres da nossa família veio da senhora. Eu te amarei e admirarei para sempre, dedicarei cada conquista minha a senhora, pois sua luz ilumina meus passos onde quer que eu vá.

Ao Prof. Dr. Alex, por ser mais que um orientador. Obrigada, Professor, por ter sido uma luz no meu caminho, acreditando em mim desde a graduação. Obrigada pelos ensinamentos e por tanta paciência. Obrigada por me fazer ver no senhor um exemplo a ser seguido. Saiba que tenho orgulho de ser sua orientada e que sempre levarei o senhor e sua família em meu coração. Toda a confiança que o senhor depositou em mim não será em vão. Obrigada, mestre, eu te admiro muito!

Ao Steffan, por todo amor e dedicação. Você foi o grande responsável por eu estar aqui e por eu ter conseguido muitas de minhas conquistas. Obrigada por segurar minha mão nos momentos difíceis, pelo suporte e por sempre me incentivar e acreditar em mim mesmo quando eu não acreditei. Obrigada por Belly, ela ilumina minha vida, é minha alegria! Você é inesquecível e em meu coração você sempre terá um lugar especial.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV da Universidade Estadual Paulista “Júlia de Mesquita Filho”, por ter me acolhido e me dado toda a estrutura necessária para realização da minha pós-graduação em um programa de conceito 7. Tenho orgulho de fazer parte desta Universidade!

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), primeiramente por ter me dado condições de realizar uma pós-graduação com todo suporte. Obrigada por ser uma agência de pesquisa séria que me proporcionou estabilidade para desenvolver minha pesquisa. Também sou grata por terem concedido a mim a Bolsa de Estágio e Pesquisa no Exterior (BEPE) que me deu a chance de uma experiência única que me fez crescer profissionalmente e pessoalmente. Serei eternamente grata por todas as oportunidades e apoio!

Ao Prof. Dr. Evaldo Titto e à Dra. Márcia Fernandes por participarem da banca examinadora, pela contribuição intelectual e pelo carinho. Serei eternamente grata!

À Rosiane, por ter sido uma irmã para mim. Agradeço pelos cuidados, pelo carinho e por sua amizade. Sem você eu não estaria aqui. Obrigada por tudo!

À Angela por toda dedicação dada ao nosso Laboratório. Obrigada também por toda preocupação, carinho e atenção. Serei eternamente grata.

Aos colegas de laboratório Carolina Cardoso Nagib Nascimento, Sheila Tavares Nascimento e Marcos Davi de Carvalho por toda ajuda durante o desenvolvimento do meu projeto. Obrigada também por todo apoio e pelo dia-a-dia que nos fez que crescer como seres humanos e profissionalmente. Muito obrigada!

À Prof. Dra. Telma Teresinha Berchielli por disponibilizar o setor de Digestibilidade e pela ajuda. Minha gratidão!

Ao Bruno, Elias, Andressa, Vladimir, Erick (Devasso) e todos do setor de Digestibilidade por serem sempre tão prestativos e atenciosos. À vocês a minha eterna gratidão.

Ao Emanuel, Renato e Servidone, pela ajuda durante o período que os meus animais ficaram no setor de Bovinocultura de Corte. Vocês foram sempre atenciosos e gentis comigo, meu carinho e gratidão.

À Maria Luiza (Malu), obrigada por toda ajuda. Você foi uma estagiária abençoada! Tive muita sorte em te conhecer.

Ao Eduardo Alves, pela amizade verdadeira e por toda ajuda. Serei eternamente grata por tudo, meu amigo.

À Ana Rebeca Lima, por dividir comigo as angustias da pós-graduação no Brasil e na Escócia. Obrigada por ter se tornado uma irmã para mim! Obrigada por sua amizade e companheirismo!

Ao Thiago Bompadre, que apesar do pouco tempo ao meu lado, fez que eu descobrisse uma felicidade única. Seu jeito, seu sorriso e seu olhar me encantam todos os dias. Obrigada por suas palavras sinceras, pelos conselhos, pelo carinho tão natural, pelos sorrisos fáceis e por tornar meus dias mais leves e felizes. À você o meu carinho, amor e gratidão!

Aos meus familiares, por toda amor e incentivo. Jamais conseguiria essa conquista sem vocês.

Aos meus tios Luiz, Fernando, Manoel e às minhas tias Docarmo, Goretti, Beta, Luzia, Rita, Lourdinha, Baia, Mundinha, Carminha, Socorro, Ceição, Dedéia, pelo amor incondicional dedicado a mim e a minha família.

A todos os meus primos e primas e em especial aos meus primos Silas, Sydney e Suyanna. Os laços familiares nos fizeram primos, mas somos irmãos de coração. Vocês conhecem meus detalhes como ninguém e sei que o amor que sentimos um pelo o outro é recíproco. Obrigada por tudo, desde o primeiro dia da minha vida até hoje. Isso se estende aos demais, pois a união e o amor são os pilares que sustentam a nossa família!

Ao meu grande amigo Túlio, por escutar minhas reclamações, por me fazer rir, por seu incentivo e por me fazer a amiga mais orgulhosa do mundo. Obrigada por tudo! Eu te amo!

À Zilene, Nelsinho, Igor, Romena, Vanessa e Anderson, pelo amor, carinho, incentivo, apoio e por me fazerem sentir parte da família com tanta naturalidade. Eu serei sempre grata a vocês por tudo que fizeram por mim. Vocês sempre vão estar em meu coração como uma segunda família. Eu amo todos vocês!

Aos Prof. Dr. Tony Waterhouse e Dave Ross, pelos exemplos de humildade e pelo profissionalismo. Obrigada por terem feito eu me sentir em casa durante o período que passei na Escócia. O conhecimento que me passaram e o exemplo jamais serão esquecidos.

Ao João Paulo Araújo Fernandes de Queiroz, pelo amigo maravilhoso que és. Sua ajuda foi essencial. Obrigada por tudo!

À todos os meus professores das disciplinas cursadas durante a Pós-Graduação Prof. Dr. Adhemar, Prof. Dr. Euclides, Prof. Dr. Donald Broom, Prof. Dr. Matheus Paranhos, Prof. Dr. Roberto Gomes da Silva e a Prof. Dra. Beth Urbinati, pelos conhecimentos passados, por terem contribuído com meu crescimento profissional e pelos bons momentos, meu muito obrigada!

À todos da turma de Medicina Veterinária de 2011.1, que são mais que colegas de profissão, são amigos para vida toda. Alane, Anacleir, Carlos Magno, Carlina,

Filiphe, Heloísa, José Renato, Kamylla, Luanna, Maisa, Marcos, Ruben, Sabrina, Tallyta e Tavares, eu amo vocês! Tudo que eu construí durante a minha graduação teve influencia de cada um de vocês e isso passou para minha pós-graduação. Obrigada por tudo durante todos esses anos!

À Herica Tertulino, João Batista Freire de Sousa Junior e Leonardo Lelis, por acreditarem em mim e pela amizade.

Aos amigos de Mossoró, que sempre acreditaram em mim e mesmo de longe sempre me apoiaram. Minha eterna gratidão!

À todos que fazem parte da equipe do Hospital e Maternidade Santa Isabel, por terem salvado minha vida! Nunca esquecerei nenhum de vocês. Todos vocês foram anjos em meu caminho. A dedicação e o carinho de vocês me trouxeram de volta a vida. Sem vocês eu não estaria aqui, portanto, à vocês a minha eterna gratidão e carinho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
LISTA DE ABREVIACÕES.....	v
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Bovinocultura de Corte no Brasil	3
2.2. Gases liberados pelo sistema respiratório (CO ₂ , O ₂ e CH ₄)	4
2.3. Transferência de calor e massa	8
2.4. Produção de Calor Metabólico.....	13
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1. Local.....	16
3.2. Animais	16
3.3. Delineamento experimental.....	17
3.4. Variáveis meteorológicas	18
3.4.1. Temperatura do ar, umidade e radiação	18
3.5. Sistema de medidas fisiológicas	19
3.6. Medidas fisiológicas	23
3.6.1. Produção de calor metabólico.....	23
3.6.2. Evaporação respiratória.....	24
3.6.3. Evaporação cutânea.....	25
3.6.4. Emissão de metano	26
3.6.5. Temperaturas	26
3.7. Fluxo de calor sensível.....	26
3.7.1. Radiação de ondas longas	27
3.7.2. Convecção	27
3.8. Análise estatística.....	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28

5. CONCLUSÃO.....	46
6. REFERÊNCIAS	46

EFEITO DA RADIAÇÃO SOLAR E TEMPERATURA NA EMISSÃO DE METANO ASSOCIADO À PRODUÇÃO E PERDA DE CALOR EM BOVINOS

RESUMO – O objetivo deste estudo foi mensurar a quantidade de CH₄, CO₂, O₂ e H₂O no ar inspirado e expirado de forma simultânea em bovinos de corte, relacionando isto com a produção de calor metabólico e a perda de calor latente e sensível sob condições meteorológicas do ambiente natural. Foram avaliados cinco bovinos da raça Nelore em um delineamento experimental de quadrado latino ao sol e a sombra. A emissão de CH₄, a produção de calor metabólico, a perda de calor latente por respiração foram determinadas usando um sistema de calorimetria indireta. Também foram determinados os fluxos de calor por radiação e convecção. Concomitantemente foram analisadas a temperatura retal (T_R), temperatura da epiderme (T_{EP}), temperatura do pelame (T_P), temperatura do ar expirado (T_{exp}), além de temperatura do ar (T_A), umidade relativa (U_R), radiação de ondas curtas (R_C), e temperatura radiante média (T_{RM}). A produção de calor metabólico apresentou média de 233,66±5,92 W m⁻² e diferiu estatisticamente (P<0,05) entre si nos diferentes ambientes (sol e sombra), apresentando maior média à sombra (245,25±5,67 W m⁻²). Verificou-se que houve uma correlação positiva baixa entre a produção de calor metabólico (q_{met}) e a emissão de metano (E_{CH4}). Este apresentou média de 7,68±0,46 L h⁻¹ e diferiu estatisticamente em relação ao ambiente, apresentando maior média à sombra (8,85±0,39 L h⁻¹). A evaporação respiratória (q_{ER}) pouco contribuiu para dissipação do calor produzido pelo metabolismo, apresentando média de 13,59±0,55 W m⁻², o mesmo ocorreu com as perdas calor por mecanismos sensíveis. A perda de calor por evaporação da superfície (q_{es}) foi a que mais contribuiu para perda de calor em bovinos da raça nelore (70,76±2,69 W m⁻²), porém esse mecanismo juntamente com os outros não foram suficientes para dissipar totalmente a energia térmica produzida. Como estratégia para tornar eficiente sua termorregulação, os bovinos da raça Nelore aumentam sua temperatura em cerca de 1°C, realizando estocagem de calor. Portanto a radiação solar de ondas curtas influenciou na produção de calor metabólico e na emissão de metano. Além disso, os mecanismos de perda de calor não foram totalmente eficientes para dissipação de energia térmica e esses animais estocaram calor para manter sua termorregulação.

Palavras-chave: Calor metabólico, Evaporação respiratória, Metano, Nelore

EFFECTS OF SOLAR RADIATION AND TEMPERATURE IN METHANE EMISSION ASSOCIATED TO HEAT LOSS IN BEEF CATTLE

ABSTRACT – The aim of this study was to measure the amount of CH₄, CO₂, O₂ and H₂O simultaneously in the air inhaled and exhaled in beef cattle. Relating this to the metabolic heat production and of latent and sensible heat loss under natural environment. Five Nelore cattle were evaluated in an experimental design of Latin square, exposed to sun and on shade. The CH₄ emission, the metabolic heat production, latent heat loss by respiration and skin surface were determined using indirect calorimetry system were also determined the flow of heat by radiation and convection. Concomitantly rectal temperature (T_R), hair coat temperature (T_{EP}), skin temperature (T_P), expired air temperature (T_{EXP}) were analyzed, in addition to air temperature (T_A), air humidity (U_R), short wave radiation (R_C) and mean radiant temperature (T_{RM}). The metabolic heat production had an average of 233,66 ± 5,92 W m⁻² and statistically different (P < 0,05) from each other in different environments (sun and shade), with higher average on shade (245,25 ± 5,67 W m⁻²). It was found that there was a low positive correlation between metabolic heat production (q_{met}) and methane emission (E_{CH4}). This last one had an average of 7,68 ± 0,46 L h⁻¹ and was statistically different on environment, showing higher average in the shade (8,85 ± 0,39 L h⁻¹). The heat loss by cutaneous evaporation (q_{ER}) contributed a little to dissipate the heat produced by metabolism, with a mean of 13,59 ± 0,55 W m⁻², so did the same for heat loss by sensitive mechanisms. The q_{es} was the largest contributor to heat loss in Nelore cattle (70,76 ± 2,69 W m⁻²), but this mechanism along with others were not sufficient to fully dissipate the heat produced. As a strategy to make efficient thermoregulation the cattle Nelore increased the rectal temperature by about 1 °C during the day. So the shortwave solar radiation influences the metabolic heat production and emission of methane. Furthermore, the heat loss mechanisms were not totally efficient to dissipate the thermal energy, so these animals made the heat storage to maintain their thermoregulation.

Keywords: Metabolic heat, Methane, Nelore, Respiratory Evaporation

LISTA DE ABREVIACÕES

A = Área do corpo do animal (m^2)

CH_4 = Metano

$\text{CH}_{4\text{ATM}}$ = Metano inspirado (L h^{-1})

$\text{CH}_{4\text{EXP}}$ = Metano liberado no sistema respiratório (L h^{-1})

CO_2 = Dióxido de carbono (%)

$\text{CO}_{2\text{A}}$ = Proporção de CO_2 na atmosfera (%)

$\text{CO}_{2\text{E}}$ = Proporção de CO_2 no ar expirado (%)

d = dimensão característica da superfície (m)

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

E_{CH_4} = Emissão de metano (L s^{-1})

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

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

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

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

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

Nu = Número adimensional de Nusselt.

O_2 = Oxigênio (%)

$\text{O}_{2\text{A}}$ = Proporção de oxigênio na atmosfera (%)

$\text{O}_{2\text{E}}$ = 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_{CO_2} = 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_{O_2} = Coeficiente calórico do oxigênio ($J L^{-1}$)

q_{rl} = Fluxo de calor por radiação

R_C = Radiação de ondas curtas ($W m^{-2}$)

Sh = Número de Sherwood

T_A = Temperatura do ar ($^{\circ}C$)

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

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

T_G = Temperatura do globo negro (K)

T_P = Temperatura do pelame ($^{\circ}C$)

T_R = Temperatura retal ($^{\circ}C$)

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

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

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

T_S = Temperatura da superfície ($^{\circ}C$)

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 (W m⁻² K⁻⁴)

Ψ_A = Umidade absoluta da atmosfera (g m⁻³)

Ψ_E = Umidade absoluta da do ar expirado (g m⁻³)

Ψ_S = Umidade absoluta do ar que passa pelo interior da cápsula (g m⁻³)

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Quadrado médio da produção de calor metabólico (q_{met}), perda de calor por evaporação respiratória (q_{ER}), temperatura do ar expirado (T_{EXP}), temperatura da epiderme (T_{EP}), temperatura do pelame (T_{P}) e fluxo de calor por convecção (q_{conv}).....	29
Tabela 2. Quadrado médio da temperatura retal (T_{R}), volume respiratório corrente (V_{RC}), frequência respiratória (F_{R}), emissão de metano (E_{CH_4}) e perda de calor por evaporação cutânea (q_{es}).....	29
Tabela 3. Médias gerais da temperatura do ar (T_{A}), umidade relativa do ar (U_{R}), temperatura radiante média à sombra (T_{RM}), temperatura radiante média ao sol ($T_{\text{RM(SOL)}}$) e radiação de ondas curtas (R_{C}).....	30
Tabela 4. Média geral, por classe de hora e por ambiente da produção de calor metabólico (q_{met} ; W m^{-2}), perda de calor por evaporação cutânea (q_{ER} ; W m^{-2}), temperatura do ar expirado (T_{EXP} ; $^{\circ}\text{C}$), temperatura do pelame (T_{P} ; $^{\circ}\text{C}$), temperatura retal (T_{R} ; $^{\circ}\text{C}$), fluxo de calor por convecção (q_{conv} ; W m^{-2}), volume respiratório corrente (V_{RC} , L resp.^{-1}), frequência respiratória (F_{R} ; resp. min^{-1}), emissão de metano (E_{CH_4} ; L h^{-1}), perda de calor por evaporação da superfície (q_{es} , W m^{-2}) e fluxo de calor por radiação de ondas longas (q_{rl} , W m^{-2}).....	34

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Esquema do quadrado latino utilizado para realização do experimento.....	18
Figura 2. Representação esquemática do sistema de medidas fisiológicas. (A) máscara facial, (B) cabeçal de fluxo, (D) câmara misturadora de ar, (L) analisador de vapor de H ₂ O, (CO ₂) analisador de CO ₂ , (O ₂) analisador de O ₂ , (CH ₄) analisador de CH ₄ , (E) coletor de saliva, (F), sensor de temperatura do ar expirado, (G) sistema de aquisição de dados, (I) espirômetro, (J) computador, (K) dissecante, (T _R) sensor da temperatura retal, (T _S) sensor de temperatura da superfície do pelame e (T _E) sensor de temperatura da epiderme, (C _{AP}) é a cápsula ventilada, (H ₂ O) analisador de vapor de H ₂ O, (T) terminal para termistores e (Bomba) são as bombas aspiradoras de ar.....	22
Figura 3. Máscara facial desenvolvida no laboratório de Bioclimatologia Animal da UNESP – Jaboticabal.....	23
Figura 4 – Distribuição ao longo do dia da temperatura do ar, da umidade, da temperatura radiante média ao sol e à sombra e da radiação solar de ondas curtas.....	31
Figura 5. Temperaturas do pelame e da epiderme ao sol e à sombra em função da classe de hora (1=08:00-10:00; 2=10:00-12:00; 3=12:00-14:00; 4:14:00-16:00; 16:00-18:00) (Interação Ambiente x Classe de Hora).....	36
Figura 6. Produção de calor metabólico e temperatura retal de bovinos da raça Nelore em função da classe de hora (1=08:00-10:00; 2=10:00-12:00; 3=12:00-14:00; 4:14:00-16:00; 16:00-18:00) e o ambiente (Interação Classe de Hora x Ambiente).....	37
Figura 7. Volume de respiratório corrente e frequência respiratória em função da classe de hora (1=08:00-10:00; 2=10:00-12:00; 3=12:00-14:00; 4:14:00-16:00; 16:00-18:00) e ambiente (Interação Classe de Hora x Ambiente).....	39
Figura 8. Emissão de metano por bovinos de corte em diferentes ambiente e em função da classe de hora(1=08:00-10:00; 2=10:00-12:00; 3=12:00-14:00; 4:14:00-16:00; 16:00-18:00) (Interação Classe de Hora x Ambiente).....	40
Figura 9. Perdas de calor por evaporação da superfície cutânea,	

evaporação respiratória, convecção e radiação de ondas longas ao sol e à sombra em função das classes de hora (Interação Classe de Hora x Ambiente).....	41
Figura 10. Emissão de metano por bovinos de corte em função do metabolismo.....	42
Figura 11. Perda de calor por evaporação da superfície de bovinos Nelore em função à temperatura do ar.....	43
Figura 12. Perda de calor na superfície cutânea de bovinos Nelore em função a umidade relativa do ar.....	44
Figura 13. Perda de calor por evaporação respiratória em bovinos Nelore em função à temperatura do ar.....	45
Figura 14. Evaporação respiratória de bovinos da raça Nelore em função a umidade relativa do ar.....	45

1. INTRODUÇÃO

Atmosfera é uma mistura de gases (cada um dos quais com ação independente), além de vapor d'água. Três gases constituem em conjunto 99,96% da atmosfera: nitrogênio, oxigênio e argônio; o restante corresponde a gases inertes (neônio, hélio, criptônio, xenônio) e hidrogênio. Há ainda em proporções variáveis: ozônio (O_3), dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4) e outros, geralmente conhecidos como poluentes (SILVA, 2008). Esses gases são responsáveis pelo efeito estufa, que é fundamental para manutenção da vida no planeta, pois sem ele a Terra seria, em média, cerca de 30°C mais fria.

Alguns estudos mostram que nos últimos 200 anos a concentração de CO_2 e CH_4 vem se elevando, passando de aproximadamente 300 para 400 ppm e de 800 para 1800 ppb, respectivamente (KHALIL E RASMUSSEN, 1987; CHAPPELLAZ et al., 1990; RAYNAUD et al., 1993; JOUZEL et al., 1993; BROOK et al., 1996; LASSEY, 2007). Esse aumento de concentração é atribuído, principalmente, a fontes antropogênicas. Países em desenvolvimento, como o Brasil, estão se tornando importantes emissores de gases do efeito estufa. As estimativas brasileiras mais recentes de emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de gases de efeito estufa em CO_2 e convertidas por meio da métrica Potencial de Aquecimento Global (GWP) são da ordem de 2.193 Tg, sendo 1.638 Tg de CO_2 (74,7%), 380 Tg de CH_4 (17,3%) e 170 Tg de N_2O (7,7%) conforme BRASIL (2010).

As atividades agropecuárias que geram emissões desses gases ocorrem por diversos processos. A fermentação entérica nos ruminantes que corresponde a uma etapa da digestão dos animais herbívoros ruminantes se destaca na produção de metano. Esse processo é uma das fontes de emissão de CH_4 mais importantes no país com 63,2% de participação na geração deste gás, cerca de 243 Tg, enquanto, os sistemas de manejo de dejetos de animais são responsáveis pela emissão de aproximadamente 16,2 Tg (BRASIL, 2010).

A maior parte do efetivo da pecuária, no Brasil, é representada por bovinos (80,9% correspondem ao gado de corte e 16,3%, ao gado de leite), compreendendo

aproximadamente 212,8 milhões de cabeças (IBGE, 2011), o que o torna importante contribuinte das emissões de metano por fermentação entérica, por unidade de produto gerado, carne ou leite. Grande parte do rebanho bovino é do tipo zebuíno, sendo a raça Nelore a mais representada (68%), em geral com menor capacidade produtiva por unidade de tempo, criado em sistemas predominantemente extensivos, sujeitos à estacionalidade de oferta de alimentos. Estudos com ruminantes demonstram que a emissão de CH_4 depende da quantidade do alimento ingerido, da qualidade da dieta (PRIMAVESI et al., 2004), da hora do dia e das condições de temperatura (LOCKYER, 1997).

Isso evidencia a necessidade de quantificar a emissão desse gás em bovinos em diferentes condições de temperatura (variação diária e sazonal). Para tanto existem várias técnicas para quantificar a emissão de CH_4 ruminal individual ou em grupo. Pode ser utilizado um gás traçador inerte, o hexafluoreto de enxofre (SF_6), possibilitando essa mensuração em situação normal de pastejo. Há ainda técnicas que utilizam uma pistola para medir o metano à laser e dispersão pontual, que estão sendo validadas. Essas técnicas, porém, são limitantes no que se refere à medição simultânea dos gases, como o oxigênio e o dióxido de carbono. A calorimetria indireta, com uso de uma máscara facial, por sua vez, permite realizar essa mensuração associada a esses gases em condições meteorológicas normais, além de medir os volumes respiratórios.

Há vários estudos abordando a emissão de CH_4 por ruminantes (JOHNSON et al., 1994; LOCKYER, 1997; WESTBERG et al., 1998 ; BOADI et al., 2002; PRIMAVESI et al., 2004), porém nenhum desses relaciona a emissão com o consumo e liberação de O_2 e CO_2 na respiração. Essas pesquisas não relacionam a perda de calor por evaporação pelas vias respiratórias do animal. Isto é, não considera o efeito das condições térmicas (temperatura do ar, umidade e radiação) que influenciam a produção de calor metabólico e a perda de calor latente, associando-as com a emissão de CH_4 .

Há vários estudos sobre produção de calor metabólico em ruminantes, porém a maioria deles foram realizados sob condições ambientais controladas em câmaras climáticas e protegidos da radiação solar (GONZALEZ E BLAXTER, 1962; MCLEAN, 1963B; HOLMES E MCLEAN, 1975; SCHRAMA et al., 1992; LIGHTON, 2008). Essa

condição diverge completamente do ambiente natural onde normalmente os animais vivem, sendo um meio mais complexo, 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). Além da interação com o pasto (PRIMAVESI et al., 2004). Diante do exposto, há hipóteses que os resultados encontrados não correspondam ao que realmente ocorrem em ambiente natural e tropical.

Portanto, o objetivo deste estudo foi mensurar continuamente a quantidade de CH_4 , CO_2 , O_2 e H_2O no ar inspirado e expirado de bovinos da raça Nelore associado à respostas fisiológicas e ambientais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Bovinocultura de Corte no Brasil

A maior parte do efetivo da pecuária, no Brasil, é representada por bovinos, sendo em sua maioria gado de corte (80,9%) e em menor parte gado de leite (16,3%), compreendendo no total aproximadamente 212,8 milhões de cabeças (IBGE, 2011). Esse é o considerado o maior rebanho comercial do mundo, já que a Índia possui o maior rebanho do mundo, porém sem enfoque comercial (POLAQUINI, SOUZA e GEBARA, 2006; IBGE, 2010). Com relação à produção de bovinos de corte, o Brasil ocupa o segundo lugar no ranking, ficando atrás somente dos Estados Unidos (Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO). E é o terceiro maior exportador mundial de carne bovina (United States Department of Agriculture – USDA).

A bovinocultura de corte é uma atividade desenvolvida em todos os estados do território brasileiro. No entanto essa atividade se concentra mais nas regiões centro-oeste e sudeste. Dentre as regiões que mais crescem na criação de gado de corte estão nas regiões Norte e Centro-Oeste, por serem áreas de fronteiras

agrícolas. Além disso, por ser um país de grande extensão e de clima tropical, o Brasil possui um maior número de dias de pastejo, além de uma grande variedade de espécies forrageiras, permitindo adaptação de muitas raças.

A pecuária de corte brasileira desempenha importante papel no processo de desenvolvimento socioeconômico (WIAZOWSKI, 2000). Representa a maior proporção do agronegócio brasileiro, gerando faturamento de mais de R\$ 50 bilhões/ano, oferecendo cerca de 7,5 milhões de empregos. Chegando a faturar mais US\$ 3 bilhões em carne bovina no primeiro semestre de 2013 (ABIEC, 2013).

Grande parte do rebanho bovino é do tipo zebuino, sendo a raça Nelore a mais representada. Cerca de 80% do gado de corte é Nelore ou anelorado, o que equivale a mais de 100 milhões de cabeças (Revista Nelore, 2012). Isso evidencia a importância dos bovinos dessa raça no Brasil. O nelore é considerado patrimônio nacional, sendo seu produto exportado para mais de 146 países e cada vez mais demandada por consumidores esclarecidos de todo o mundo (ACNB, 2013). Apesar disso poucos são os estudos envolvendo essa raça de grande importância.

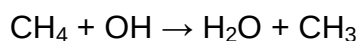
2.2. Gases liberados pelo sistema respiratório (CO₂, O₂ e CH₄)

Há aproximadamente 3,5 bilhões de anos a atmosfera tinha uma composição diferente daquela observada atualmente (SCHIRMER E LISBOA, 2008). Segundo os mesmo autores, as transformações bioquímicas em massa dos organismos primitivos deram origem a quase todo o O₂ atmosférico. Este apresenta concentração na atmosfera de 20,95% (SCHIRMER E LISBOA, 2008; SCHMIDT-NIELSEN, 2013). O oxigênio é importante, pois a maioria dos animais obtém energia através do processo de oxidação dos alimentos, tendo como produto o dióxido de carbono e água (SCHMIDT-NIELSEN, 2013).

O dióxido de carbono é o segundo gás do efeito estufa mais importante, com concentração até 100 vezes inferior ao do vapor d'água (MOLION, 2008). A concentração desse gás aumentou de 315 ppm em 1958 para 379 ppm em 2005, crescendo à taxa média de 0,4% ao ano (IPCC, 2007; MOLION, 2008). Esse aumento vem sendo justificado pelo aumento das atividades antropogênicas, que se intensificaram com a revolução industrial (KHALIL E RASMUSSEN, 1994; STERN E KAUFMANN, 1996; SUBAK, 1994). Mas, a partir de 1998, a taxa de crescimento anual da concentração do CO₂ passou a diminuir inexplicavelmente, embora as fontes antrópicas continuem aumentando (MOLION, 1998).

Além do vapor d'água e do CO₂, há ainda o metano, que também é um importante gás do efeito estufa (KHALIL E RASMUSSEN, 1994). Este gás apresenta uma forte banda de absorção em torno de 7,66 µm (infravermelho), esta é uma região espectral que o CO₂ e a água pouco absorvem. Com isso, a CH₄ se torna um gás de grande importância no balanço radiativo da troposfera e estratosfera (DONNER E RAMANATHAN, 1980; DICKINSON E CICERONE, 1986).

A principal reação de remoção do metano se dá por meio da oxidação dessa molécula, consumindo o OH e gerando CO, CO₂, H₂O, H₂ e CH₂O (CICERONE E OREMLAND, 1988). Os mesmos autores afirmam que aproximadamente 85% do metano emitido para atmosfera é destruído por meio da reação de oxidação dessa molécula da troposfera:



Essa oxidação gera como produto CH₂O, H₂, CO e CO₂, havendo ainda a possibilidade de produzir ozônio (CICERONE E OREMLAND, 1988). Como o CO₂ e o O₃ são gases do efeito estufa, a oxidação do metano tem um efeito indireto sobre o clima (Thompson, 1992), além de seu papel importante no efeito estufa (IPCC, 2007).

É na estratosfera que o restante das moléculas de metano são consumidas através de reações com o radical hidroxila, com átomos de cloro e oxigênio (BLAKE

E ROWLAND, 1988; CICERONE E OREMLAND, 1988). Devido à barreira da tropopausa, as camadas mais elevadas da atmosfera, como a estratosfera, possuem uma baixa concentração de água, portanto a reação de oxidação fotoquímica do metano é a principal fonte de água na estratosfera (SCHIRMER E LISBOA, 2008). As reações com o metano nessa camada também funciona como um reservatório temporário da molécula de cloro, formando o HCl, que é inativo ao ozônio. Isso fará que o ciclo catalítico de destruição do ozônio pelo cloro seja interrompido. (CICERONE E OREMLAND, 1988; SCHIRMER E LISBOA, 2008). Isso comprova a importância desse gás também nessa camada da atmosfera.

Dentre as principais fontes de emissão de metano, pode-se citar as áreas alagadas, queima de combustíveis fósseis e os depósitos de lixo urbanos, queima de biomassa, cultivo de arroz alagado e rebanhos de ruminantes (MOSIER et al, 1991). As atividades agropecuárias que geram emissões dos gases responsáveis pelo efeito estufa ocorrem por diversos processos, onde se destaca a fermentação ruminal corresponde a uma etapa da digestão dos animais herbívoros ruminantes. Esse processo é uma das fontes da produção de CH_4 e a eliminação ocorre por meio da eructação (Johnson e Johnson, 1995). A fermentação ruminal é uma das mais importantes fontes de metano no país com cerca de 63,2% de participação na geração deste gás, cerca de 243 Tg, enquanto, os sistemas de manejo de dejetos de animais são responsáveis pela emissão de aproximadamente 16,2 Tg (BRASIL, 2010).

De acordo com Lima et al. (2002) a agricultura contribui com cerca de 98% da produção de metano, sendo desse percentual aproximadamente 69% advindo a fermentação ruminal (BRASIL – MCT 2004). A produção de CH_4 surge principalmente a partir da fermentação microbiana dos carboidratos estruturais e não estruturais da dieta hidrolisada, como celulose, hemicelulose, pectina e amido (CRUTZEN et al., 1986). Esse processo exige um ambiente anaeróbico e ocorre no estômago dos ruminantes (rúmen) e ceco dos não-ruminantes, além do esterco armazenado (DEMEYER E VAN NEVEL, 1975). O metano é um subproduto da fermentação ruminal que ocorre devido a ação de um importante grupo de organismos *Archea* (ARCURI, LOPES E CARNEIRO, 2011). A fermentação

bacteriana utiliza os carboidratos como substrato para seu metabolismo e como resultados formam os ácidos graxos voláteis (acetato ou butirato, via piruvato) que serão fonte de energia para os ruminantes (JOHNSON E JOHNSON, 1995). Como subproduto dessa fermentação há formação de hidrogênio (H_2) e CO_2 . A formação do metano é o principal dreno do H_2 ruminal, sendo esse processo indispensável para vida dos organismos do rúmen, bem como do próprio ruminante (VALADARES FILHO E PINA, 2011), pois o acúmulo de H_2 no rúmen causaria a diminuição do pH ruminal, impedindo a reoxidação do NADH e o catabolismo celular, causando a morte celular e consequentemente dos ruminantes (KOZLOSKI, 2011). Quantidades significativas de CH_4 ruminal, especialmente com dietas com alta concentração proteica, também podem surgir a partir da fermentação microbiana dos aminoácidos, que tem o CH_4 como um dos produtos finais, além da amônia, ácidos graxos voláteis (AGV) e CO_2 (VALADARES FILHO E PINA, 2011).

A quantidade de CH_4 produzido por um animal é influenciada por muitos fatores, incluindo-se fatores nutricionais, como o tipo de carboidrato na dieta, o nível de consumo de ração, o nível de produção (por exemplo, a produção anual de leite e produtos lácteos), taxa de passagem da dieta, a presença de ionóforos, o grau de saturação dos lipídios na dieta, fatores ambientais, tais como a temperatura e outros componentes do ambiente (JOHNSON E JOHNSON, 1995; MCALLISTER et al., 1996), e fatores genéticos, como a eficiência de conversão alimentar (NKRUMAH et al., 2006). Estudos com ruminantes demonstram que a emissão de CH_4 também dependem da hora do dia e das condições de temperatura (LOCKYER, 1997). Denmead (1994), em seu estudo com bovinos, observou picos de emissão de CH_4 durante períodos de ruminação e queda da emissão durante períodos de pastejo, sendo esse ciclo repetido a cada 3 horas, aproximadamente.

Existem várias técnicas para quantificar a emissão de CH_4 ruminal individual ou em grupo. Dentre elas, pode-se citar a técnica de mensuração em câmaras fechadas (WESTBERG et al., 1998), sendo a mais precisa, porém requer maior controle dos animais. Outra é utilizando um gás traçador inerte, o hexafluoreto de enxofre (SF_6), possibilitando essa mensuração em situação normal de pastejo. Há ainda a técnica de dispersão pontual (MCGINN et al. 2011), porém esta, assim como o SF_6 , apresenta custo elevado. Em trabalho realizado por Johnson et al., (1994) o

valor de emissão de CH_4 foi de 8,3 e 9,2 g h^{-1} em bovinos, utilizando a técnica de SF_6 e mensuração em uma câmara, respectivamente. Grainger et al., (2007) usando as mesmas técnicas mensuraram, em vacas leiteiras, a emissão de CH_4 , sendo $331 \pm 74,6 \text{ g dia}^{-1}$ e $322 \pm 57,5 \text{ g dia}^{-1}$ respectivamente. Boadi et al., (2002) usando um capuz ventilado e a técnica de SF_6 para mensurar a emissão de CH_4 também em bovinos, obtiveram valores de 93 e 98 g dia^{-1} , respectivamente.

Trabalhando com bovinos, Primavesi et al. (2004), verificou que a emissão de CH_4 por vacas Holandesas em lactação era de 13,8 a 16,8 g h^{-1} , e por vacas secas de 11,6 a 12,3 g h^{-1} , enquanto que novilhas em pastagem adubada emitiam 9,5 g h^{-1} e as novilhas em pastagem sem adubo entre 7,6 e 8,3 g h^{-1} . Enquanto que McGinn e Beauchemin (2009) mensuraram a emissão de CH_4 em bovinos da raça Hereford em piquetes, obtendo resultados praticamente similares, $185 \pm 37,6 \text{ g animal}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e $199 \pm 34,6 \text{ g animal}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, usando a técnica de SF_6 e modelos de dispersão respectivamente.

Dentre essas técnicas a mais utilizada atualmente é a técnica do SF_6 , que foi desenvolvida por Johnson e Johnson (1995). Esse gás, porém, apresenta potencial de aquecimento global 23.900 vezes maior que o CO_2 (IPCC, 2007). Ou seja, é um gás altamente poluente. Além disso, o Protocolo de Quioto designou que o SF_6 como um dos gases cuja liberação para a atmosfera deve ser limitada.

A técnica do SF_6 e as demais citadas apresentam limitações quando se referem a mensuração simultânea de outros gases respiratórios. A calorimetria indireta, com uso de uma máscara facial, por sua vez permite realizar essa mensuração associada a outros gases em condições meteorológicas normais, além de medir os volumes respiratórios (MAIA et al. 2005a). Essa técnica é sustentável e que não utiliza nenhum gás poluente.

2.3. Transferência de calor e massa

A transferência de calor é energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperaturas no espaço (INCROPERA et al., 2013). Segundo os mesmos autores sempre que houver um diferencial de temperatura em um meio ou entre

meios, existirá, necessariamente, transferência de calor. Essa condição física ocorre também entre os animais e o meio em que eles se encontram. Já que, de acordo com Silva e Maia (2013), os animais e o ambiente em que eles se encontram formam um complexo sistema em que cada animal é afetado pelos fatores ambientais e pelos outros animais, que reagem e os afetam.

Quando o ambiente sofre qualquer alteração, isso pode provocar variações comportamentais e fisiológicas dos organismos em resposta à necessidade de manutenção do equilíbrio térmico nos animais, configurando essa condição (FINCH, 1984). Segundo Maia e Silva (2013) a homeotermia pode ser expressa pela equação de balanço térmico. O balanço de energia térmica presente em um animal homeotérmico pode ser expresso pela seguinte expressão:

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

onde M ($W\ m^{-2}$) é a taxa de produção de calor liberada nos processos metabólicos, ou seja na oxidação dos alimentos ou das reservas corporais. 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.

De acordo com Silva e Maia (2013) a superfície externa do corpo é a principal fronteira entre o organismo e o meio ambiente, a outra é representada pelo pulmão e pelos tecidos respiratórios dos animais terrestres. Portanto as trocas de calor que ocorrem nessas superfícies são de extrema importância para manutenção do equilíbrio térmico dos animais.

Fisicamente se pode definir cada mecanismo de transferência de calor. De acordo com Incropera et al. (2013) a radiação pode ser definida como a energia que é emitida pela matéria como um resultado de sua temperatura não nula (0 Kelvin). Esses autores afirmam que a natureza de propagação dessa energia se dá por meio de fótons ou quanta, alternativamente a radiação pode ser vista como a propagação de ondas eletromagnéticas. A porção do espectro que se estende de

aproximadamente 0,1 até 100 μm e que abrange a fração da UV e todo o visível e o infravermelho (IV), que é chamada por radiação térmica, porque é causada por e afeta o estado térmico ou a temperatura da matéria (Incropera et al., 2013).

Já a condução é a transferência de energia das partículas mais energéticas para as menos energéticas de uma substância devido às interações entre as partículas (INCROPERA et al., 2013). Temperaturas mais altas estão associadas a energias moleculares mais altas, portanto quando duas moléculas se chocam ocorre a transferência de energia das moléculas mais energéticas para as menos energéticas. Na presença de um gradiente de temperatura, a transferência de energia por condução ocorre daquele que possui maior temperatura para o de menor temperatura (ÇENÇEL, 2009).

A convecção é o modo de transferência de energia entre uma superfície e uma líquida ou um gás adjacente, que está em movimento e que envolve os efeitos combinados de condução e de movimento de um fluido (ÇENÇEL, 2009). Incropera et al. (2013) afirmam que essa transferência de energia ocorre devido ao movimento molecular aleatório (difusão), e através do movimento global ou macroscópico do fluido. Essa transferência de calor é favorecida pelo diferencial de temperatura e pode ser forçada ou natural (CENÇEL, 2009; SILVA E MAIA, 2013). Se o deslocamento é causado por um diferencial de densidade ou consequência da diferença de temperatura, o processo é denominado convecção natural ou convecção passiva. Se o deslocamento é causado por forças ativas, como bombas, ventiladores ou qualquer fonte eólica se tem uma convecção forçada ou ativa (SILVA E MAIA, 2013).

Esses três mecanismos de transferência de calor dependem de um gradiente de temperatura e cessam quando os meios envolvidos atingem a mesma temperatura (ÇENGEL, 2009). Ao considerarmos um animal e seu meio, podemos afirmar que para ocorrer trocas de calor por meio de mecanismos sensíveis é indispensável que a temperatura do meio seja menor que a superfície do animal. Portanto, esses mecanismos são predominantes em ambientes de altas latitudes, já que a temperatura ambiente encontra-se geralmente abaixo da temperatura crítica inferior. No entanto, em baixas latitudes a temperatura ambiente com frequência excede a temperatura crítica superior, passando a predominar a dissipação de calor

latente, enquanto o metabolismo declina (TANEJA, 1958 e 1959; MCLEAN, 1963ab; FINCH, 1985; ARKIN et al., 1991; SILVA et al., 2002a). Quando o animal encontra-se em um ambiente com altas temperaturas ele pode ganhar calor por convecção (GEBREMEDHIN E BINXIN, 2001) e em ambientes caracterizados por intensa radiação solar também poderá ganhar calor por radiação (GEBREMEDHIN et al., 2008). Portanto as perdas de calor latentes se tornam indispensáveis para manutenção da termorregulação dos animais (SILVA e MAIA, 2011).

Os mecanismos latentes são aqueles que não dependem de um gradiente de temperatura e sim de um gradiente de concentração (INCROPERA et al., 2013). O indivíduo dispõe de mecanismos latentes para realizar a perda de calor, através da perda de calor por evaporação cutânea (FINCH et al., 1982; MCLEAN, 1963a; MAIA et al., 2005a) ou através de sistema respiratório (STEVENS 1981; MAIA et al., 2005b).

O processo de tomada de oxigênio e liberação de dióxido de carbono é denominado respiração (SCHMIDT-NIELSEN, 2013). Esta é um mecanismo fisiológico de grande importância para os animais. A função do sistema respiratório é muitas vezes vista como estando relacionada principalmente as trocas gasosas, sendo a função de termorregulação frequentemente ignorada, através da perda de calor latente pelas vias respiratórias. Este processo permite que haja a perda de calor em ambientes com temperaturas elevadas (FINDLAY, 1957; MCLEAN, 1963b). Quando o animal respira ocorre a umidificação do ar inspirado, com isso haverá um aumento na ventilação respiratória que conseqüentemente elevará a evaporação respiratória enquanto a desumidificação e resfriamento não ocorrerem (SCHMIDT-NIELSEN, SCHROTER AND SHKOLNIK, 1981).

Alguns trabalhos mostram que sob condições de estresse térmico ocorre rapidamente a alteração da frequência respiratória (MCDOWELL et al. 1953; FINDLAY 1957). Segundo os mesmos autores, essa resposta fisiológica é uma das primeiras a ser observada com o aumento da temperatura, aumentando o volume por minuto do animal, favorecendo as trocas de calor latente no sistema respiratório. Apesar da evaporação cutânea contribuir mais expressivamente com a dissipação de energia térmica.

Alguns estudos mostram que a evaporação cutânea é superior à respiratória em bovinos, chegando a corresponder a cerca de 80% do total da energia térmica dissipada (GEBREMEDHIN et al., 1981; MCLEAN 1963a) Isso, porém, não se aplica à ovinos lanados segundo Silva et al. (2003). Entretanto esses trabalhos, exceto o de Silva et al. (2003), foram realizados sob condições ambientais controladas, não demonstrando a verdadeira ação do ambiente natural sobre as respostas fisiológicas do organismo em estudo.

Maia et al. (2005a) trabalhando com vacas Holandesas, verificaram que a perda de calor por evaporação pelas vias respiratórias chegou a $56,51 \text{ W m}^{-2}$ quando a temperatura ambiente chegou a 35°C . Maia et al. (2005b) comprovaram que quando há um aumento de temperatura de 10 para 36°C a perda de calor latente por evaporação cutânea elevou-se de 30 para 350 W m^{-2} , neste último caso a dissipação térmica por evaporação da superfície correspondeu a aproximadamente 85% do total da perda de calor em vacas Holandesas. Enquanto Silva et al. (2012) trabalhando com vacas mestiças (Holandesas x Zebu) e vacas Holandesas em ambiente semi-árido e subtropical respectivamente, encontraram que a evaporação cutânea no primeiro caso foi de $117,2 \text{ W m}^{-2}$ e a respiratória foi de $44,0 \text{ W m}^{-2}$, enquanto que no segundo caso a perda de calor por evaporação cutânea foi de $85,2 \text{ W m}^{-2}$ e a evaporação respiratória foi de $30,2 \text{ W m}^{-2}$.

Gebremedhin et al. (2008) trabalhando com diferentes raças de vacas leiteiras, com diferentes coloração de pelame, encontraram 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 $127,56 \text{ W m}^{-2}$ a mesma temperatura ambiente. Esta última foi considerada mais tolerante ao calor, pois apresentou menor perda de calor por evaporação cutânea se comparadas com vacas Holandesas pretas e brancas, com aproximadamente $278,06 \text{ W m}^{-2}$ e $188,73 \text{ W m}^{-2}$, respectivamente.

Jiang et al. (2005) estudaram modelos de simulação que predizem a temperatura da superfície, temperaturas através do pelame e a perda de calor sensível e latente na superfície da pele, para condições reais do ambiente. Em um ambiente com radiação solar de 500 W m^{-2} e umidade de 25% o ganho por meio de mecanismos sensíveis foi de $37,6 \text{ W m}^{-2}$ e a perda de calor por evaporação cutânea

foi de $76,9 \text{ W m}^{-2}$. Já simulando a temperatura ambiente de 25°C e radiação de 500 W m^{-2} a evaporação cutânea foi de $74,1 \text{ W m}^{-2}$ e o ganho pelos mecanismos sensíveis foi de $28,6 \text{ W m}^{-2}$. Já com temperatura fixada em 20°C e umidade de 25% e a radiação variando de 250, 550 e 880 W m^{-2} , o ganho por de calor sensível foi de 0,3, 12,8 e $26,2 \text{ W m}^{-2}$ e a perda de calor latente de 24,5, 26, 1 e $28,1 \text{ W m}^{-2}$, respectivamente.

É válido ressaltar que em ambiente naturais ou em instalações sem controle do ambiente é bem mais difícil estabelecer os fatores que influenciam no balanço térmico, porém são nesses ambientes que os animais vivem. Portanto realizar estudos em ambientes naturais é fundamental para entender realmente o que ocorre com os animais. Isto é uma limitação dos trabalhos de Findlay (1957), McLean 1963ab, Gebremedhin et al. (2008) e Jiang et al. (2005).

Além disso, é importante ressaltar que a natureza da resposta a um agente estressor também depende de alguns fatores intrínsecos ao animal, dentre eles estão a genética, a idade, sexo, condições fisiológicas ou até mesmo experiências anteriores. A resposta ao estresse térmico compreende o reconhecimento da ameaça à homeostase ou ao bem-estar do organismo (MORBERG, 1976). Segundo Silva (2000) os mecanismos de controle térmico (termogênese e termólise) podem ser de três tipos: comportamentais, autônomos e adaptativos, os quais são integrados em centros termorreguladores do hipotálamo, que constituem um sistema de retroalimentação. Segundo Bicego et al. (2007) os mamíferos, apresentam respostas homeostáticas ao estresse térmico, como vasodilatação periférica, alta taxa de sudação, aumento da frequência respiratória, maior ingestão de água e menor de alimentos, redução do metabolismo, o que interfere diretamente nas condições produtivas e reprodutivas do animal. Portanto é importante estudar as respostas fisiológicas dos animais quando estes estão submetidos a condições ambientais naturais, pois só assim se terá conhecimento acerca das reais alterações sofridas por eles em suas condições normais de produção.

2.4. Produção de Calor Metabólico

O calor é gerado pelas diversas reações químicas envolvidas nas funções normais do organismo, sendo que a quantidade desse calor é uma consequência da velocidade das reações. Os processos metabólicos que geram energia, tanto para sintetizar novas moléculas ou para o trabalho muscular e nervoso dos animais homeotérmicos, proporcionam a eles a produção contínua de calor (SILVA, 2000).

A quantidade de oxigênio consumido pelos tecidos é determinante na produção de energia térmica metabólica por eles. Dentre os tecidos que produzem mais energia térmica tem-se o tecido cerebral e nervoso, seguido em ordem decrescente, por tecido glandular, fígado e músculo esquelético (SCHMIDT-NIELSEN, 2013).

No século XVIII, Lavoisier e o físico Simon Laplace realizaram experimentos para provar que a respiração é responsável pela produção de calor do corpo (MENDELSON, 1964; HOLMES, 1985; LAVOISIER E LAPLACE, 1780). Lavoisier e sua esposa, Marie-Anne Paulze, inventaram a calorimetria indireta, que mede a taxa metabólica (MR) através do consumo de oxigênio. Eles pretendiam determinar se a quantidade de calor libertado por unidade de dióxido de carbono produzido era o mesmo para a respiração dos animais e a combustão de carbono. Para medir a produção de calor, eles inventaram um calorímetro de gelo com três câmaras. Ele usou o derretimento do gelo para sua calorimetria direta e uma máscara de cobre, em que o sujeito respirou, para coletar ar expirado e mensurar o dióxido de carbono (WILDER, 1959).

Os estudos sobre a produção de calor metabólico em ruminantes foram, em sua maioria, realizados sob condições ambientais controladas em câmaras climáticas e protegidos da radiação solar (GONZALEZ E BLAXTER, 1962; MCLEAN, 1963b; HOLMES E MCLEAN, 1975; SCHRAMA et al., 1992; LIGHTON, 2008). Essa condição diverge completamente do ambiente natural onde normalmente os animais vivem, sendo um meio mais complexo, 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).

Há três formas de mensurar esse metabolismo (SILVA E MAIA, 2013). A primeira corresponde a um método bastante disseminado, onde é calculada a diferença entre o valor energético do alimento ingerido e o valor energético do que foi excretado (fezes e urina). Esse método, no entanto, possui algumas restrições, já que para realiza-lo o organismo não pode apresentar nenhuma alteração de sua composição estrutural. Isso limita seu uso somente a animais adultos.

Há ainda os métodos de calorimetria direta e indireta (SILVA E MAIA, 2013, KLEIBER, 1972). Na calorimetria direta o calor total produzido pelo organismo é mensurado no interior de uma câmara climática com paredes termo isoladas (KLEIBER, 1972; MCLAEAN, 1963a). Esse é considerado o método mais eficaz para determinação da produção de calor (MCLEAN E TOBIN, 1987).

Já na calorimetria indireta a energia térmica produzida pelos organismos é mensurada por meio da avaliação dos gases respiratórios (O_2 e CO_2), além do metano, no caso dos ruminantes (PINARES-PATÍÑO et al., 2008). Nesse método é considerado que a produção de calor metabólico é resultado da oxidação de compostos orgânicos. O animal pode ser colocado em uma câmara onde o fluxo de ar é controlado ou pode ser utilizada uma máscara facial, onde apenas o focinho do animal ficará isolado (MAIA et al. 2005a; LIGHTON, 2008, SHIMIDITH-NIELSEN, 2013). Também se pode coletar a urina para análise de nitrogênio. No entanto, considera-se que O_2 e CO_2 contribuem com cerca de 99% da quantidade total de calor produzido, enquanto que o metano e nitrogênio correspondem apenas a 1% desse valor (BROUWER 1965; KLEIBER, 1975).

A calorimetria indireta utilizando a máscara facial é uma técnica menos onerosa, se comparada com a que utiliza a câmara respirométrica. Porém é pouco utilizada, devido a necessidade de condicionar os animais ao uso da máscara. Essa técnica permite ao pesquisador a analisar a emissão dos gases em condições ambientais normais, ou seja, em condições meteorológicas naturais que os animais são submetidos diariamente, permitindo ainda a avaliação da espirometria dos animais (MAIA et al. 2011).

Maia et al. (2005), mensurando a produção de calor metabólico de vacas holandesas de alta e baixa produção, verificou que esses animais em ambiente tropical produzem respectivamente $798,56 \text{ W m}^{-2}$ e $764,87 \text{ W m}^{-2}$. Isso evidencia que animais com um nível de produção mais elevado possui maior taxa metabólica e maior geração de calor interno.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local

O trabalho foi desenvolvido na Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP) campus de Jaboticabal, no Laboratório de Bioclimatologia Animal e no setor de Digestibilidade. Essa região apresenta latitude de $21^{\circ} 8'$, longitude: $48^{\circ} 11'$ e altitude de 583 metros.

3.2. Animais

Foram utilizados cinco animais da espécie bovina (Nelore) não castrados, mantidos no setor Digestibilidade da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Os animais selecionados apresentavam mesma idade (36 meses) e condição corporal, aproximadamente 750 Kg.

Esses bovinos foram condicionados ao uso da máscara facial antes da execução das coletas de dados. Esse condicionamento durou cerca de três meses e os animais foram submetidos gradualmente as mesmas condições experimentais. Nas primeiras semanas os animais ficaram 15 minutos utilizando a máscara facial,

com o passar das semanas gradativamente foi aumentado o tempo de permanência com a máscara (30, 45, 60, 75 minutos e assim sucessivamente até completar as duas horas) para os animais se acostumarem com a situação.

Durante o período de realização do trabalho, os animais foram alimentados com a mesma dieta que foi aquela normalmente utilizada nos setores que eles se encontram na UNESP de Jaboticabal, com proporção de concentrado (a base de milho, soja e ureia) e volumoso (silagem de milho) de 70:30, com consumo diário de aproximadamente 2% do peso vivo. Essa dieta era dividida em duas refeições por dia e a água era disponibilizada à vontade.

3.3. Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em duas condições ambientais, ao sol e à sombra, sendo utilizado o delineamento de quadrado latino (5x5), com cinco animais avaliados durante cinco dias e em cinco classes de horários (Classe de Hora 1: 08:00-10:00; Classe de Hora 2: 10:00-12:00; Classe de Hora 3: 12:00-14:00; Classe de Hora 4: 14:00-16:00; Classe de Hora 5: 16:00-18:00). No experimento conduzido à sombra os animais eram continuamente protegidos da radiação solar direta, através de uma estrutura de aproximadamente 3 metros por 8,50 metros e um telhado de fibrocimento. Enquanto no experimento ao sol, os animais eram expostos à radiação solar antes da coleta. Foi realizada uma replicação para cada ambiente, à sombra e ao sol, respectivamente. Consequentemente as coletas de dados foram realizadas durante 20 dias de coletas consecutivos nos meses de fevereiro e março de 2013. Cada animal foi avaliado durante um período de 02:00 horas. Desta forma cada dia de coleta compreendeu dez horas de observação e ao final de cada ciclo de 5 dias, cada animal foi observado entre 8:00 até às 18:00 horas (Figura 1).

	Animal 1	Animal 2	Animal 3	Animal 4	Animal 5
Dia 1	8:00-10:00	10:00-12:00	12:00-14:00	14:00-16:00	16:00-18:00
Dia 2	16:00-18:00	8:00-10:00	10:00-12:00	12:00-14:00	14:00-16:00
Dia 3	14:00-16:00	16:00-18:00	8:00-10:00	10:00-12:00	12:00-14:00
Dia 4	12:00-14:00	14:00-16:00	16:00-18:00	8:00-10:00	10:00-12:00
Dia 5	10:00-12:00	12:00-14:00	14:00-16:00	16:00-18:00	8:00-10:00

Figura 1. Esquema do quadrado latino utilizado para realização do experimento.

É importante ressaltar que no experimento conduzido ao sol os animais eram expostos à radiação solar direta, o primeiro animal a ser utilizado ficava exposto das 07:00 horas até às 08:00 horas, o segundo animal das 07:00 horas até às 10:00 horas, que era o horário de início da segunda coleta, e assim sucessivamente, até o último animal que ficava exposto das 7:00 horas até às 16:00 horas.

Estabeleceu-se um período de dez horas de observação que representa o período de maior intensidade de radiação solar, conseqüentemente, o período de maior atividade desses animais e ainda é o tempo que eles estão sujeitos ao estresse térmico.

3.4. Variáveis meteorológicas

3.4.1. Temperatura do ar, umidade e radiação

Os dados de temperatura do ar (t_A , °C) e umidade relativa do ar (UR, %) foram coletados através do uso de um data logger (modelo HOBO, onset), programado para realizar medidas a cada um segundo. Já a radiação solar direta foi medida com um Piranômetro (modelo CMP 22, Kipp & Zonen), em intervalos regulares de dez minutos.

A temperatura radiante média (T_{RM} , K) foi estimada a partir dos dados de temperatura do ar, velocidade do vento e temperatura de um globo negro (esfera oca de chapa de cobre com 0,15 m de diâmetro e pintada de preto fosco), a qual foi medida com um sensor (Termopar tipo K) inserido no centro do globo, o sensor era

conectado a um datalogger registrador de dados (modelo HOBO, onset). A T_{RM} foi estimada utilizando a equação proposta por Silva (2000),

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

onde $\varepsilon_G = 0,95$ é a emissividade do globo negro, T_G (K) é a temperatura do globo negro, T_A é a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), $\sigma = 5,67051 \times 10^{-8}$ ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$) é a constante de Stefan-Boltzman e h_G ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$) é o coeficiente de convecção do globo negro que foi obtido de acordo com a seguinte equação de acordo com Silva e Maia (2013):

$$h_G = kd^{-1}Nu$$

onde k é a condutividade térmica do ar ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$), d é a dimensão característica do corpo (m) e Nu é o número adimensional de Nusselt, calculado de acordo com Silva e Maia (2013)

3.5. Sistema de medidas fisiológicas

Como mostra a figura 2, o sistema de medidas fisiológicas, era composto pelos seguintes equipamentos:

1. Máscara facial (Figura 3):

Foi desenvolvida no Laboratório de Bioclimatologia, consistia em um recipiente plástico, envolto por uma folha de alumínio e que era vedado com látex sintético e acoplado ao animal por meio de um garrote de látex. A máscara possuía duas válvulas de entradas e duas saídas de ar;

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 CH₄ (modelo MA-10 Methane Analyzer, Sable System);
5. Três analisadores de vapor de H₂O (modelo RH-300, Sable System);
6. Três bombas (modelo SS4 sub-sample, Sable System)
7. Um dissecante (Perclorato de Magnésio)
8. Um espirômetro (modelo ML141 da AdInstruments)
9. Uma câmara misturadora de gases (modelo MLA246, AdInstruments)
10. Um cabeçal de fluxo (modelo MLT1.000, AdInstruments)
11. Um sensor de temperatura nasal (modelo MLT415/AL, AdInstruments)
12. Um sensor de temperatura retal (Modelo MLT1407, AdInstruments)
13. Dois sensores de temperaturas da superfície corporal (Modelo MLT22/A, AdInstruments)
14. Sistema de aquisição de dados (Modelo PowerLab 16/30 and LabChart Pro, AdInstruments)
15. Terminal para termistores (Modelo Thermistor Pod ML309, AdInstruments)
16. Computador
17. Cápsula ventilada

O sistema de medidas fisiológicas funcionava da seguinte maneira: a máscara facial era ajustada ao focinho do animal 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. Desta forma, pelo tubo da válvula de saída da máscara o ar expirado pelo animal seguia para câmara misturadora de gases, onde continuamente uma alíquota desse ar era aspirado para o analisador de vapor de H₂O que realizava a leitura da pressão de saturação do ar expirado ($P_{S\{T_{EXP}\}}$, kPa). Em seguida essa amostra de ar passava pelo dissecante (Perclorato de magnésio - $Mg(ClO_4)_2$) e seguia para os analisadores de CO₂, O₂ e CH₄ que faziam a leitura da proporção desses gases no ar expirado do animal (CO_{2E}, O_{2E} e CH_{4EXP},

respectivamente). Em um outro caminho o ar expirado do animal após passar pela câmara misturadora de gases era conduzido para o cabeçal de fluxo, o qual estava conectado ao espirômetro que fazia a leitura digital da frequência respiratória (F_R , resp. min^{-1}) e do volume respiratório corrente (V_{RC} , L resp $^{-1}$).

Os sensores de temperatura eram fixados sobre a superfície da epiderme e outro sobre a superfície do pelame, enquanto o sensor de temperatura retal era inserido no reto do animal e o sensor de temperatura do ar expirado foi colocado no interior da máscara a frente das narinas do animal. Esses sensores estavam conectados diretamente no terminal de termistores e estes conectados ao sistema de aquisição de dados, assim medindo continuamente a temperatura da epiderme (T_{EP} , °C) e do pelame (T_P , °C), temperatura retal (T_R , °C) e do ar expirado (T_{EXP} , °C), respectivamente.

A cápsula ventilada era colocada sobre a superfície corporal do animal (Figura 2) e presa manualmente. No tubo de saída de ar da mesma era conectada uma bomba que forçava o ar entrar no tubo de entrada da cápsula e passar pelo seu interior sobre a superfície do animal e seguir até o analisador de vapor, que fazia a leitura da pressão de saturação de vapor da superfície corporal ($P_S\{T_S\}$, kPa).

Neste sistema as leituras das proporções de O_2 , CO_2 e CH_4 da atmosfera (O_{2A} , CO_{2A} e CH_{4ATM} , respectivamente) eram feitas sempre que a máscara facial era retirada do focinho do animal. No entanto, para a pressão parcial de vapor da atmosfera ($P_P\{T_A\}$, kPa) seu valor era registrado continuamente por um analisador de vapor de H_2O conectado a uma bomba que aspirava uma alíquota de ar da atmosfera próximo ao animal.

Todas as leituras fisiológicas foram registradas continuamente a uma taxa de 1.000 observações por segundo pelo sistema de aquisição de dados conectado ao computador e armazenadas no mesmo para posterior extração dos dados.

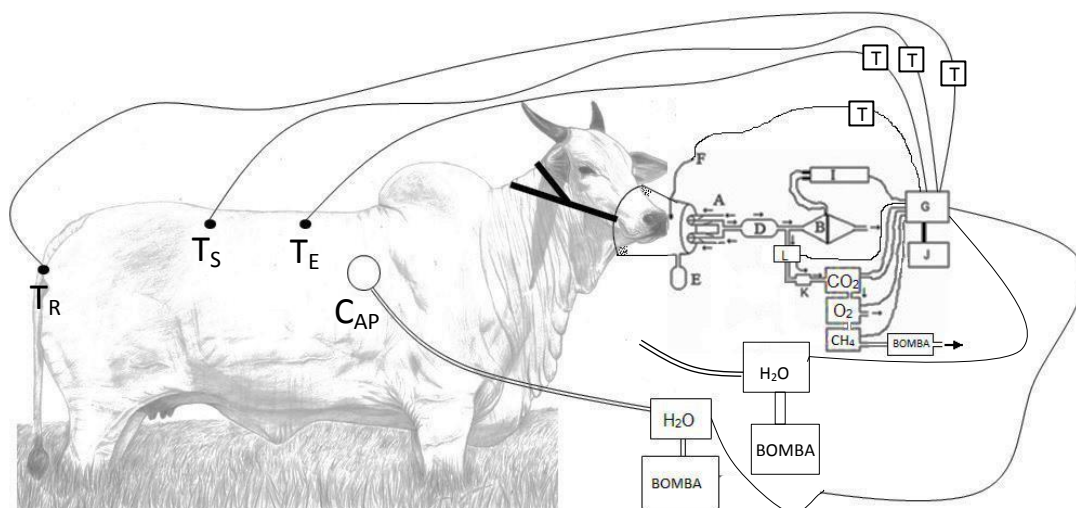


Figura 2. Representação esquemática do sistema de medidas fisiológicas. (A) máscara facial, (B) cabeçal de fluxo, (D) câmara misturadora de ar, (L) analisador de vapor de H_2O , (CO_2) analisador de CO_2 , (O_2) analisador de O_2 , (CH_4) analisador de CH_4 , (E) coletor de saliva, (F), sensor de temperatura do ar expirado, (G) sistema de aquisição de dados, (I) espirômetro, (J) computador, (K) dissecante, (T_R) sensor da temperatura retal, (T_S) sensor de temperatura da superfície do pelame e (T_E) sensor de temperatura da epiderme; (C_{AP}) cápsula ventilada, (H_2O) analisador de vapor de H_2O , (T) terminal para termistores e (Bomba) são as bombas aspiradoras de ar.



Figura 3. Máscara facial desenvolvida no laboratório de Bioclimatologia Animal da UNESP – Jaboticabal

3.6. Medidas fisiológicas

3.6.1. Produção de calor metabólico

A produção de calor (q_{met} , W m^{-2}) foi determinada pelo sistema de medidas fisiológicas através de calorimetria indireta conforme mostra figura 2 desenvolvida pelo laboratório de Bioclimatologia Animal da UNESP – Jaboticabal.

O O_2 e CO_2 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, 1975). Considerando isso, a produção de calor metabólico foi determinada pela diferença na proporção de O₂ e CO₂ entre o ar inspirado e o expirado, de acordo com Silva e Maia (2013) ela pode ser determinada pela seguinte equação:

$$q_{\text{met}} = A^{-1} F_R V_{\text{RC}} [0,75 Q_{\text{O}_2} (O_{2A} - O_{2E}) + 0,25 Q_{\text{CO}_2} (CO_{2E} - CO_{2A})]$$

onde A (m²) é a área de superfície corporal, sendo V_{RC} o volume respiratório corrente (L resp.⁻¹) e F_R a frequência respiratória (resp. s⁻¹); O_{2A} e O_{2E} são as proporções de O₂ na atmosfera e no ar expirado, respectivamente; CO_{2A} e CO_{2E} são as proporções de CO₂ na atmosfera no ar expirado, respectivamente; Q_{O₂} e Q_{CO₂} são, respectivamente, os coeficientes calóricos do oxigênio e do dióxido de carbono (J L⁻¹), que variam de acordo com o quociente respiratório (SCHMIDT-NIELSEN, 2013).

3.6.2. Evaporação respiratória

O fluxo de calor latente no processo respiratório foi estimado pelo produto da taxa de ventilação pulmonar pela diferença no conteúdo de umidade do ar expirado com aquela do ar inspirado (Maia et al., 2005). Então este resultado foi multiplicado pelo calor latente que foi dividido pela área de superfície corporal, permitindo a estimativa do fluxo de calor latente respiratório (q_{ER}, W m⁻²):

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

onde A (m²) é a área de superfície corporal, λ é o calor latente de vaporização (J g⁻¹) e a ψ_A (g m⁻³) umidade absoluta da atmosfera:

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

onde $P_P\{T_A\}$ é a pressão parcial de vapor da temperatura do ar (kPa), T_A (K) é a temperatura do ar e ψ_E (g m^{-3}) a umidade absoluta do ar expirado:

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

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

3.6.3. Evaporação cutânea

Para mensurar a pressão de saturação ($P_S\{T_S\}$, kPa) da temperatura da superfície corporal, foi utilizada uma cápsula ventilada similar àquela descrita por Maia et al. (2005b). A cápsula foi conectada a uma bomba de ar que aspirava o ar que passava sobre a superfície corporal do animal no interior da cápsula até o analisador de vapor que fazia a leitura da $P_S\{T_S\}$. De acordo com Silva e Maia (2013) a perda de calor latente na superfície do animal (W m^{-2}) pode ser estimada pela seguinte equação:

$$q_{es} = \frac{D_v}{d} \text{Sh}(\psi_s - \psi_{atm})$$

onde D_v é a difusividade do vapor de água na atmosfera ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$), d é a dimensão característica da superfície (m), Sh é o número de Sherwood, Ψ_{atm} é a umidade absoluta da atmosfera (g m^{-3}) e a Ψ_s é a umidade absoluta do ar que passa pelo interior da cápsula ventilada (g m^{-3}), estimada pela seguinte equação:

$$\Psi_s = \frac{2166,87P_s\{T_s\}}{T_s}$$

onde T_s (K) é a temperatura da superfície da epiderme.

3.6.4. Emissão de metano

O CH_4 (L h^{-1}) liberado no sistema respiratório foi estimado de acordo com Silva e Maia (2013):

$$E_{\text{CH}_4} = F_R V_{\text{RC}} (\text{CH}_{4\text{EXP}} - \text{CH}_{4\text{ATM}})$$

onde $\text{CH}_{4\text{EXP}}$ e $\text{CH}_{4\text{ATM}}$ são as proporções de metano no ar expirado e inspirado, respectivamente.

3.6.5. Temperaturas

A temperatura da superfície do pelame (T_s , °C) foi aferida por meio de um sensor (modelo MLT 422A) colocado na região dorsal do animal sobre a superfície do pelame. Outro sensor similar foi usado para medir a temperatura da superfície da epiderme (T_{SE} , °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 (T_R , °C) foi aferida continuamente ao longo das coletas por um sensor retal (MLT 1404, ADInstrument).

3.7. Fluxo de calor sensível

3.7.1. 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:

$$q_{rl} = \varepsilon \sigma (T_S^4 - T_{RM}^4)$$

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

3.7.2. Convecção

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

$$q_{conv} = h_C (T_S - T_A)$$

onde h_C é o coeficiente de convecção ($W\ m^{-2}\ K$), 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).

3.8. Análise estatística

Foi utilizado o procedimento “Proc GLM” do programa “Statistical Analyses System” (SAS) para composição do arquivo, exame da distribuição de frequência dos dados, análises descritivas, análises de regressão e análises de variância, conforme Littell et al, (1991) e Freund e Littell (2000). A análise de variância foi baseada no método dos quadrados mínimos para dados não-balanceados utilizando

modelos mistos (Harvey, 1960; Silva, 1993). O modelo estatístico utilizado para as variáveis estudadas foi:

$$Y_{ijklmn} = \mu + A_i + M_j + R_k + I_{jk} + D_L(I_{jk}) + CH_m + e_{ijklmn}$$

onde Y_{ijklm} é a m-ésima observação das variáveis observadas (emissão de CH_4 , q_{met} , q_{ER} , q_{es} , q_{conv} , q_{RL} , F_R , V_R , T_R , T_S e T_{EP}), sendo que A é o efeito aleatório do i-ésimo animal (1, 2, 3, 4 e 5); M é o efeito fixo do j-ésimo ambiente (sol ou sombra); R é o efeito fixo da k-ésima réplica do quadrado latino (1 e 2); I é interação entre o j-ésimo ambiente e a k-ésima réplica do quadrado latino; D é o efeito aleatório do l-ésimo dia de coleta dentro da interação do ambiente com a réplica; CH é o efeito fixo da m-ésima classe de hora (1=8:00-10:00, 2=10:00-12:00, 3=12:00-14:00, 4=14:00-16:00, 5=16:00-18:00 horas); e_{ijklmn} é o erro aleatório e μ a média paramétrica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra o resumo da análise de variância com os quadrados médios das variáveis estudadas. Nesta tabela se pode observar que para todas variáveis, exceto para o q_{met} , o efeito do ambiente foi significativo ao nível de 5% de probabilidade. O mesmo ocorreu para o efeito de classe de hora. Nenhuma variável foi significativa para o efeito de interação entre o ambiente e a classe de hora, exceto a temperatura do pelame.

Tabela 1. Quadrado médio da produção de calor metabólico (q_{met} , W m^{-2}), perda de calor por evaporação respiratória (q_{ER} , W m^{-2}), temperatura do ar expirado (T_{EXP} , $^{\circ}\text{C}$), temperatura da epiderme (T_{EP} , $^{\circ}\text{C}$), temperatura do pelame (T_{P} , $^{\circ}\text{C}$) e fluxo de calor por convecção (q_{conv} , W m^{-2})

FV	GL	q_{met}	q_{ER}	T_{EXP}	T_{EP}	T_{P}	q_{conv}
Animal	4	10.159,47*	20,01*	0,18	2,13*	3,89*	22,39*
Ambiente	1	12.058,92*	0,51	0,66*	7,27*	6,22*	140,67*
Quadrado Latino (Ambiente)	2	54.064,77	207,95*	5,42*	9,99*	5,74*	89,26*
Int. Dia x Quadrado Latino (Ambiente)	16	2.808,00*	11,69	0,86*	1,39*	1,64*	49,52*
Classe de Hora	4	260,50	305,84*	23,40*	28,25*	34,97*	279,71*
Int. Ambiente x Classe de Hora	4	564,85	2,68	0,01	0,52	0,10*	0,77
Resíduo	60	1.356,27	8,18	0,10	0,58	0,70	7,20
CV		15,76	21,04	0,97	2,18	2,43	26,23
R ²		0,72	0,8006	0,94	0,81	0,80	0,82

Valores seguidos de * são estatisticamente significantes.

R² é o coeficiente de determinação e o CV é o coeficiente de variação.

A Tabela 2 mostra que o efeito do ambiente foi significativo ao nível de 5% de probabilidade para todas as variáveis. O mesmo aconteceu para o efeito classe de hora, porém para a interação entre ambiente e classe de hora nenhuma variável estudada foi significativa.

Tabela 2. Quadrado médio da temperatura retal (T_{R} , $^{\circ}\text{C}$), volume respiratório corrente (V_{RC} , L resp.^{-1}), frequência respiratória (F_{R} , resp. min^{-1}), emissão de metano (E_{CH_4} , L s^{-1}) e perda de calor por evaporação cutânea (q_{es} , W m^{-2})

FV	GL	T_{R}	V_{RC}	F_{R}	E_{CH_4}	q_{es}
Animal	4	0,085*	23,38*	209,08*	88,66*	120,52
Ambiente	1	0,084*	5,21*	5,27*	116,84*	1.109,08*
Quadrado Latino (Ambiente)	2	0,039	16,85*	5,08*	105,46*	2.213,48*
Int. Dia x Quadrado Latino (Ambiente)	16	0,035*	2,18*	1,95*	12,84*	288,92*
Classe de Hora	4	0,504*	2,72*	10,30*	158,66*	8.551,83*
Int. Ambiente x Classe de Hora	4	0,008	0,51	1,13	3,34	181,36
Resíduo	60	0,020	0,78	1,36	6,98	148,25
CV		0,36	15,21	5,94	34,39	17,20
R ²		0,69	0,78	0,91	0,77	0,84

Valores seguidos de * são estatisticamente significantes.

R² é o coeficiente de determinação e o CV é o coeficiente de variação.

As condições meteorológicas em que o trabalho foi realizado se encontram na Tabela 3. A temperatura do ar e a umidade apresentaram correlação negativa (-0,94415), conforme mostra a Figura 4. A temperatura radiante média ao sol foi superior àquela à sombra, pois há um incremento térmico devido à exposição a radiação de ondas curtas. A radiação solar de ondas curtas apresentou distribuição igual à obtidas por Oliveira et al. (2011) no semi-árido do nordeste brasileiro, porém com menor intensidade, devido a diferença das regiões.

Tabela 3. Médias gerais da temperatura do ar (T_A), umidade relativa do ar (U_R), temperatura radiante média à sombra (T_{RM}), temperatura radiante média ao sol ($T_{RM(SOL)}$) e radiação de ondas curtas (R_C)

	n	Média	Erro padrão	Mínimo	Máximo
T_A (°C)	649.173	30,00	0,003	22,01	35,98
U_R (%)	652.757	61,17	0,011	30,91	86,50
$T_{RMSombra}$ (°C)	649.173	31,78	0,004	21,52	38,54
T_{RMSol} (°C)	590.635	47,82	0,010	25,16	71,71
R_C ($W\ m^{-2}$)	1.146	522,45	8,671	12,00	1.150,00

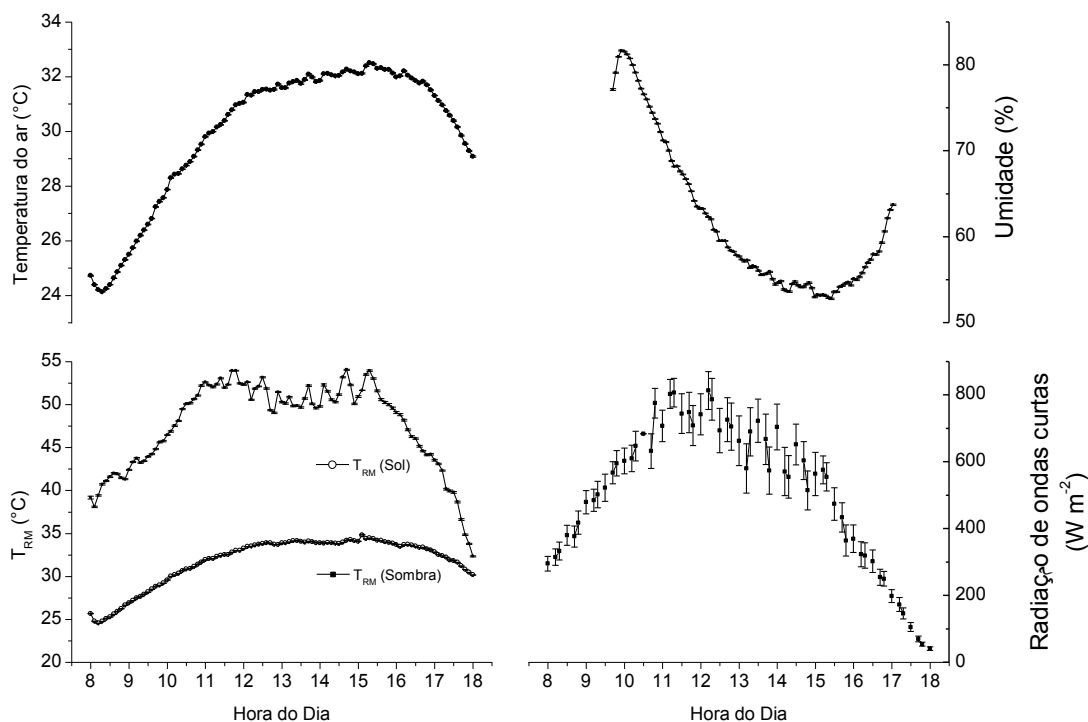


Figura 4. Distribuição ao longo do dia da temperatura do ar, da umidade, da temperatura radiante média ao sol e à sombra e da radiação solar de ondas curtas.

A Tabela 4 apresenta as médias gerais das variáveis estudadas, além das médias em relação a classe de hora e o ambiente. A produção de calor metabólico não diferiu entre as classes de horas, mas ocorreu diferença estatística entre os ambientes estudados, apresentando maior produção de calor à sombra. Isso se deve ao fato que quando os animais são expostos à radiação solar direta há um incremento calórico e para tentar contornar essa adversidade os animais dispõem de estratégias, como a diminuição do metabolismo. Isso também foi constatado por Maia (2005) em vacas Holandesas, que apresentaram menor metabolismo com o aumento da temperatura do ar. Essa mesma relação foi encontrada anteriormente por Kibler e Brody (1954) e Finch (1985).

Para Gebremedhin et al. (1981), porém, a produção de calor por bezerros foi praticamente constante em ambientes com temperaturas entre 15 °C e 29 °C. Esses

mesmos autores relatam que em ambientes com temperaturas superiores a 24 °C a produção de calor começa a diminuir e em ambientes com temperaturas inferiores a 8 °C a produção de calor aumenta consideravelmente. Ou seja, a produção de calor metabólico é uma estratégia fisiológica de grande importância para manutenção da termorregulação dos animais.

A evaporação respiratória pouco variou ao longo das classes de hora e nos diferentes ambientes (Tabela 4), diferindo dos resultados encontrados por Maia et al. (2005a). Eles 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. Isso mostra que para vacas Holandesas esse mecanismo de perda de calor é bem expressivo, diferindo dos bovinos da raça Nelore.

A temperatura da epiderme foi maior nas classes de horas 3, 4 e 5 e o mesmo ocorreu para temperatura do pelame. Essas classes de hora apresentaram uma temperatura do ar elevada (Figura 4) o que pode ter influenciado no aumento dessas temperaturas. O mesmo ocorreu no trabalho de Maia (2005) com vacas Holandesas. Gebremedhin et al. (1981) e Jiang et al. (2005) observaram esse mesmo incremento de temperatura da superfície e da pele com o aumento da temperatura do ar. A temperatura retal foi maior na última classe de hora (5), isso mostra que esses animais estocaram calor ao longo do dia, porém isso será abordado posteriormente.

A perda de calor por convecção foi decrescendo ao longo do dia, isso se deve ao aumento da temperatura (Figura 4), já que para esse mecanismo de perda de calor ocorra é necessário um diferencial de temperatura. O mesmo resultado foi observado por Maia et al. (2005a), trabalhando com vacas Holandesas, encontrando que quando a temperatura do ar aumentou de 10°C para 35°C a perda de calor por convecção diminuiu de 8,24 para 1,09 W m⁻².

O volume respiratório corrente e a frequência respiratória pouco variaram ao longo do dia e nos diferentes ambientes. Isso mostra que a exposição à radiação solar e a temperatura do ar pouco interferem nas reações fisiológicas dos bovinos da raça Nelore. Gebremedhin et al. (2010) trabalhou com 12 vacas Holandesas, seis

predominantemente pretas e outras 6 brancas, em ambiente controlado, com e sem radiação de ondas curtas. Eles mensuraram algumas variáveis fisiológicas, como frequência respiratória temperatura retal e da pele. Esses autores verificaram que, ao submeter os animais a um aumento de temperatura do ar de 25, 1 °C para 29,1 °C e umidade relativa do ar de 23, 1% para 69,2%, frequência respiratória, temperatura da pele e retal aumentaram. Porém isso não aconteceu com os bovinos da raça Nelore, mostrando que apesar da exposição à radiação solar de ondas curtas, poucas alterações fisiológicas foram constatadas.

Tabela 4. Média geral, por classe de hora e por ambiente da produção de calor metabólico (q_{met} ; W m^{-2}), perda de calor por evaporação respiratória (q_{ER} ; W m^{-2}), temperatura do ar expirado (T_{EXP} ; $^{\circ}\text{C}$), temperatura da epiderme (T_{EP} ; $^{\circ}\text{C}$), temperatura do pelame (T_{P} ; $^{\circ}\text{C}$), temperatura retal (T_{R} ; $^{\circ}\text{C}$), fluxo de calor por convecção (q_{conv} ; W m^{-2}), volume respiratório corrente (V_{RC} , L resp.^{-1}), frequência respiratória (F_{R} ; resp. min^{-1}), emissão de metano (E_{CH_4} ; L h^{-1}), perda de calor por evaporação da superfície (q_{es} , W m^{-2}) e fluxo de calor por radiação de ondas longas (q_{rl} , W m^{-2})

Médias	q_{met}	q_{ER}	T_{EXP}	T_{EP}	T_{P}	T_{R}	q_{conv}	V_{RC}	F_{R}	E_{CH_4}	q_{es}	q_{rl}
	233,66±5,9 2	13,59±0,5 5	33,04±0,11	34,89±1,47	34,39±1,58	38,86±0,21	10,23±0,5 3	5,82±0,03	19,64±0,3 3	7,68±0,4 6	70,76±2,69	15,81±1,42
Classe de Hora												
08:00-10:00	232,09 ^a ± 8,87	6,63 ^d ±0,50	31,19 ^d ±0,0 7	32,94 ^c ±0,1 7	32,17 ^c ±0,1 8	38,66 ^d ±0,0 3	16,41 ^a ±0,6 0	6,40 ^a ±0,2 0	18,43 ^b ±0,2 7	10,87 ^a ± 0,61	35,33 ^d ±3,0 0	32,38 ^a ±2,3 7
10:00 - 12:00	236,83 ^a ± 8,87	12,94 ^c ±0,6 9	32,87 ^c ±0,0 7	34,66 ^b ±0,1 7	34,23 ^b ±0,1 8	38,78 ^{cd} ±0,0 3	10,77 ^b ±0,6 0	6,02 ^{ab} ±0,2 0	19,85 ^a ±0,2 7	9,86 ^a ±0,6 1	65,91 ^c ±3,5 5	15,79 ^b ±2,5 8
12:00-14:00	238,09 ^a ± 8,23	16,44 ^a ±1,2 2	33,69 ^b ±0,0 7	35,76 ^a ±0,1 7	35,28 ^a ±0,1 8	38,84 ^{bc} ±0,0 3	8,09 ^c ±0,60	5,73 ^a ±0,1 9	19,82 ^a ±0,2 6	8,51 ^a ±0,5 9	82,66 ^b ±3,3 0	8,60 ^{cd} ±2,67
14:00-16:00	229,06 ^a ± 8,53	16,72 ^a ±0,9 2	34,00 ^a ±0,0 7	35,85 ^a ±0,1 7	35,38 ^a ±0,1 8	38,95 ^b ±0,0 3	6,85 ^c ±0,60	5,37 ^b ±0,2 0	20,45 ^a ±0,2 7	5,33 ^b ±0,6 1	88,42 ^a ±4,4 7	7,70 ^d ± 2,58
16:00-18:00	232,14 ^a ± 9,20	15,25 ^b ±0,8 1	33,49 ^b ±0,0 7	35,26 ^{ab} ±0,1 7	34,93 ^{ab} ±0,1 9	39,09 ^a ±0,0 3	8,98 ^{bc} ±0,6 0	5,75 ^a ±0,2 0	19,63 ^a ±0,2 7	4,09 ^b ±0,6 1	83,91 ^{ab} ±4,4 0	14,06 ^{bc} ±2,0 3
Ambiente												
Sol	222,03 ^b ±5,4 3	13,48 ^a ±0,6 9	33,13 ^a ±0,0 4	34,62 ^b ±0,1 0	34,15 ^b ±0,1 2	38,89 ^a ±0,0 2	9,01 ^b ±0,38	5,62 ^a ±0,1 2	19,40 ^a ±0,1 6	6,62 ^b ±0,3 7	74,70 ^a ±3,8 6	11,97 ^b ±0,9 0
Sombra	245,25 ^a ±5,6 7	13,70 ^a ±0,8 4	32,96 ^b ±0,0 4	35,17 ^a ±0,1 0	34,65 ^a ±0,1 1	38,83 ^b ±0,0 2	11,42 ^a ±0,3 7	6,09 ^b ±0,1 3	19,87 ^a ±0,1 7	8,85 ^a ±0,3 9	66,83 ^b ±3,7 0	20,07 ^a ±1,9 4

Médias seguidas nas colunas seguidas de letras minúsculas diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A densidade do CH_4 para as condições do experimento foi de $0,6050 \text{ g L}^{-1}$.

A emissão de metano foi maior nas primeiras classes de hora do dia e houve ainda influencia do ambiente, apresentando maior média à sombra (Tabela 4). Isso significa que as condições meteorológicas podem sim influenciar a emissão desse gás. McGinn et al. (2011) utilizando técnicas de dispersão, avaliando a emissão de metano a cada 10 minutos de novilhas à pasto, verificaram que as maiores emissões foram constatadas entre 10 e 16 horas.

Grainger et al. (2007) estudaram a emissão de metano de vacas leiteiras utilizando as técnicas de SF₆ e câmaras respirométricas. Eles encontraram que na primeira técnica a média foi de $331 \pm 74,6 \text{ g d}^{-1}$, enquanto que a emissão média nas câmaras foi de $322 \pm 57,5 \text{ g d}^{-1}$. Segundo os mesmos autores a emissão de metano foi maior depois da alimentação, atingindo um valor cerca de duas vezes maior que antes da alimentação. Já McGinn e Beauchemin (2009) utilizando técnicas de dispersão e de SF₆ para mensurar emissão de metano por bovinos de corte, encontraram $185 \pm 37,9$ e $199 \pm 34,6 \text{ g animal}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente. Essa média se aproximou mais da encontrada no presente trabalho que foi de $111,51 \text{ g animal}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Segundo DeRamus et al. (2003), que avaliaram a emissão de metano de novilhas e vacas à pasto utilizando a técnica do hexafluoreto de enxofre, os valores para emissão de metano foram de 89 a 180 g d^{-1} para as novilhas e 165 a 294 g dia^{-1} para vacas.

A Tabela 4 mostra que a perda de calor por evaporação da superfície foi maior nas classes de hora onde a temperatura do ar foi superior, principalmente na classe de hora 4 (14 às 16 horas). Maia et al. (2005b) trabalhando com vacas Holandesas encontraram que a evaporação cutânea aumentou de 30 para 350 W m^{-2} quando a temperatura do ar variou de 10 para 30°C. Esses resultados mostram que para bovinos leiteiros e bovinos de corte a evaporação cutânea é um mecanismo de grande importância para a termorregulação.

A Figura 5 mostra que a temperatura do pelame e da epiderme aumentaram ao longo do dia, tendo um leve decréscimo na classe de hora 5 (16 às 18 horas). As temperaturas da epiderme e do pelame foram maiores à sombra. Isso diferiu do trabalho de Gebremedhin et al. (2010), onde a temperatura da pele aumentou quando os animais foram expostos a radiação e diminuíram de $36,5 \pm 1,9$ para

34,7±0,5 °C quando passaram da condição de expostos ao sol para a condição de sombra. Essa diferença nas temperaturas pode ser explicada por Gebremedhin et al. (1997), que afirmam que pelames mais densos previnem a penetração da radiação solar no interior do pelame, resultando numa menor temperatura da pele, além disso pelame do Nelore é mais curto e claro, favorecendo a perda de calor de dentro para fora.

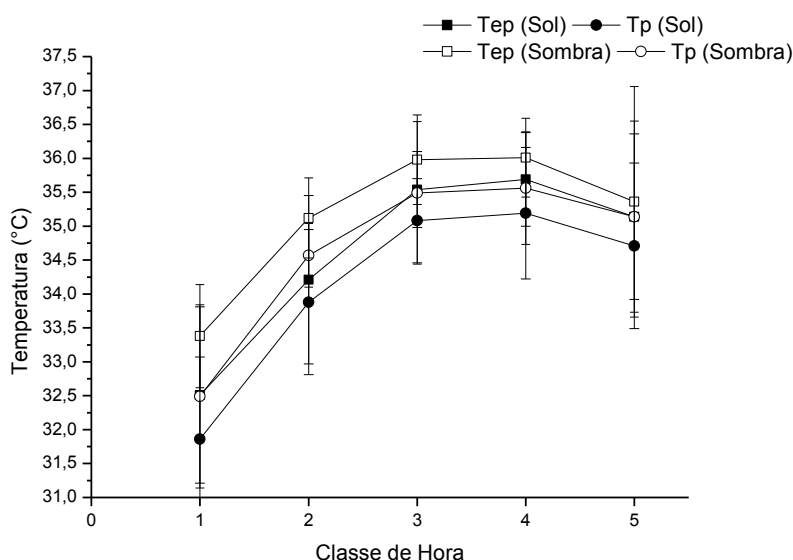


Figura 5. Temperaturas do pelame e da epiderme ao sol e à sombra em função da classe de hora (1=08:00-10:00; 2=10:00-12:00; 3=12:00-14:00; 4:14:00-16:00; 5=16:00-18:00) (Interação Ambiente x Classe de Hora).

A produção de calor metabólico ao sol pouco variou ao longo do dia, o mesmo ocorreu à sombra, nesta houve uma pequena diminuição na classe de hora 4 (14 às 16 horas) e em seguida retomou o aumento na classe de hora 5 (16 às 18 horas) (Figura 6). McLean (1963a) estudando a influencia da temperatura na produção de calor metabólico de bezerros verificou que a produção de calor foi praticamente fixa com a variação da temperatura. Diante disso se pode afirmar que a radiação de ondas curtas é um fator preponderante na produção de calor metabólico.

Já a temperatura retal pouco variou ao compararmos os ambientes, mas houve um aumento de praticamente 1 °C durante o dia (Figura 6). Gebremedhin et al. (2008) trabalhando com diferentes raças de bovinos constataram que esses

animais expostos a radiação de 500 W m^{-2} apresentaram temperatura retal variando desde $39,3 \pm 0,53 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $41,7 \pm 0,19 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Gebremedhin et al. (2010) encontraram que quando os animais estavam expostos à radiação a temperatura retal foi de $39,4 \pm 0,5$ e que quando a fonte da radiação de ondas curtas foi desligada a temperatura retal foi para $40,0 \pm 0,06 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Considerando que esses animais durante o dia aumentam em cerca de 1°C sua temperatura retal (Figura 6) e usando a equação proposta por Silva e Maia (2013) para o cálculo do estoque térmico, tem-se que bovinos da raça Nelore estocam cerca de 420 W m^{-2} . Isso mostra o quanto a estocagem térmica é um mecanismos importante para esses animais se manterem numa condição fisiológica estável. Já que esse calor estocado durante o dia é dissipado durante a noite.

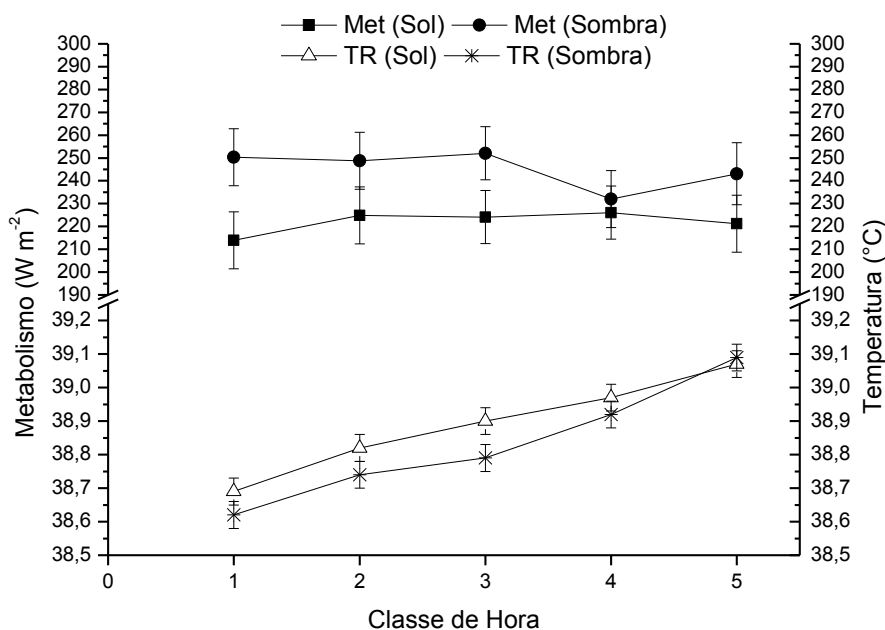


Figura 6. Produção de calor metabólico e temperatura retal de bovinos da raça Nelore em função da classe de hora (1=08:00-10:00; 2=10:00-12:00; 3=12:00-14:00; 4=14:00-16:00; 5=16:00-18:00) e o ambiente (Interação Classe de Hora x Ambiente).

O calor produzido pelo metabolismo, quando não é dissipado por completo pelos mecanismos sensíveis e latentes, é estocado (Findlay, 1957). Isso ocorreu

com os bovinos neste estudo, podendo ser constatado quando se observa as figuras 6 e 9.

A Figura 7 mostra que a frequência respiratória foi maior ao sol e o volume respiratório corrente foi menor. Isso se deve ao fato de que nesse ambiente há um aumento da temperatura e os animais aumentam a frequência respiratória e o volume de ar que circula pelos pulmões por respiração diminui, porém aumenta o volume minuto, porém essa diferença não apresenta significância fisiológica. Gebremedhin et al. (2010) observou que a frequência respiratória foi de $102 \pm 12,2$ para 80 ± 13 resp. min^{-1} quando os animais passaram da exposição à radiação para sem radiação. Essa alteração fisiológica é rapidamente alterada com variações meteorológicas, porém em bovinos Nelore essas alterações não interferiram significativamente nesse aspecto fisiológico.

Findlay (1957) estudou o efeito da temperatura ambiente de 20°, 30° e 40°C na frequência respiratória e no volume de bezeros. A frequência respiratória variou de 70, 120 e 145 resp. min^{-1} , respectivamente, com o aumento da temperatura. A frequência respiratória dos bovinos elevou-se ao longo do dia, sendo superior quando os animais estavam expostos à radiação. Segundo a mesma autora, quando o estresse térmico aumentou, o volume corrente diminuiu. Realmente isso ocorreu no presente trabalho, já que com o aumento da frequência, o volume de ar que entra nos pulmões é reduzido por respiração. No entanto o volume minuto aumenta, a fim de incrementar a perda de calor por evaporação respiratória. Findlay (1957) verificou isso quando a 20° e a 30°C os valores foram de 44 e 62,3 L min^{-1} , porém quando a temperatura do ar subiu para 40°C o volume minuto passou para 80 L min^{-1} .

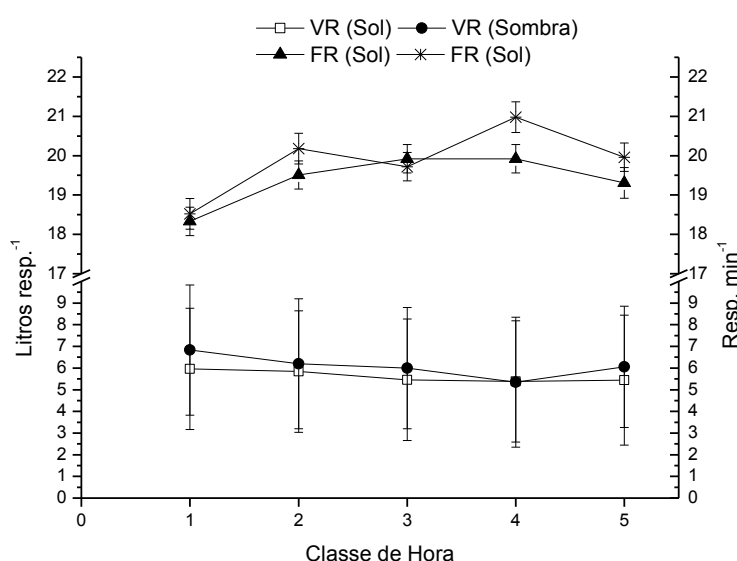


Figura 7. Volume de respiratório corrente e frequência respiratória em função da classe de hora (1=08:00-10:00; 2=10:00-12:00; 3=12:00-14:00; 4:14:00-16:00; 16:00-18:00) e ambiente (Interação Classe de Hora x Ambiente)

A emissão de metano decresceu em ambos ambientes em relação às classes de hora, sendo que a maior emissão de metano se deu à sombra (Figura 8). Isso pode ser devido a alterações no consumo da dieta por consequência da exposição ao sol. Segundo Blaxter (1967) quando aumenta o consumo, o total de metano produzido aumenta, porém o total de energia perdida em relação ao total de alimento consumido diminui. Rogerson (1960) estudando o efeito de temperaturas entre 20 e 40°C, encontrou que em elevadas temperaturas a produção de metano de bovinos diminui.

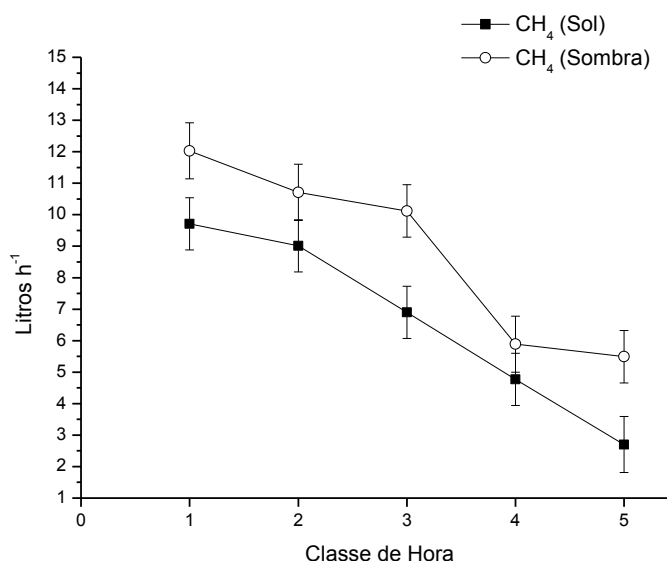


Figura 8. Emissão de metano por bovinos de corte em diferentes ambiente e em função da classe de hora (1=08:00-10:00; 2=10:00-12:00; 3=12:00-14:00; 4:14:00-16:00; 16:00-18:00) (Interação Classe de Hora x Ambiente)

A perda de calor por evaporação da superfície foi a que mais contribui para a perda de calor, e foi maior ao sol que à sombra (Figura 9). A perda de calor por evaporação respiratória foi um pouco superior ao sol que à sombra, porém em ambos ambientes pouco contribui para dissipação de energia térmica do bovino. Já as perdas de calor sensíveis, radiação e convecção, foram diminuindo ao longo do dia, devido a diminuição da diferença entre a temperatura da superfície do animal e a temperatura do ambiente.

Gebremedhin et al. (2008) usando um calorímetro portátil e um medidor de evaporação para bovinos, fabricado por eles, mediram a taxa de sudação de vacas e novilhas Holandesas. Esses animais foram expostos à radiação solar direta de 500 W m^{-2} e a uma temperatura média de $38,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Nessas condições a taxa de sudação variou entre $189 \pm 84,6$ e $522 \pm 127,7 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Esses autores consideram que animais que suam menos são mais tolerantes ao calor que aqueles que apresentam maior taxa de sudação. Porém animais, como equinos e zebuínos, são mais tolerantes ao calor e apresentam uma alta taxa de sudação, sendo o aumento da frequência respiratória uma estratégia de alto custo para esses animais.

Silva e Maia (2011) utilizando uma cápsula ventilada para mensurar a termólise por evaporação cutânea de vacas Holandesas à sombra expostas previamente a radiação solar direta, chegaram a conclusão que as áreas negras apresentaram maiores taxas de evaporação ($93,3 \pm 5,7 \text{ W m}^{-2}$) que as regiões brancas ($73,6 \pm 6,5 \text{ W m}^{-2}$)

Jiang et al. (2005) trabalhando com o efeito da radiação na predição dos fluxos de calor sensíveis e evaporativo, constatou que em ambientes com radiação de 250, 550 e 880 W m^{-2} o fluxo sensível foi de -0,3, -12,8 e -26,2 W m^{-2} e o fluxo evaporativo foi de 24,5, 26,1, 28,1 W m^{-2} , respectivamente. Ou seja, verificaram que o fluxo evaporativo é um mecanismo essencial para que ocorra a dissipação do calor em ambientes com radiação.

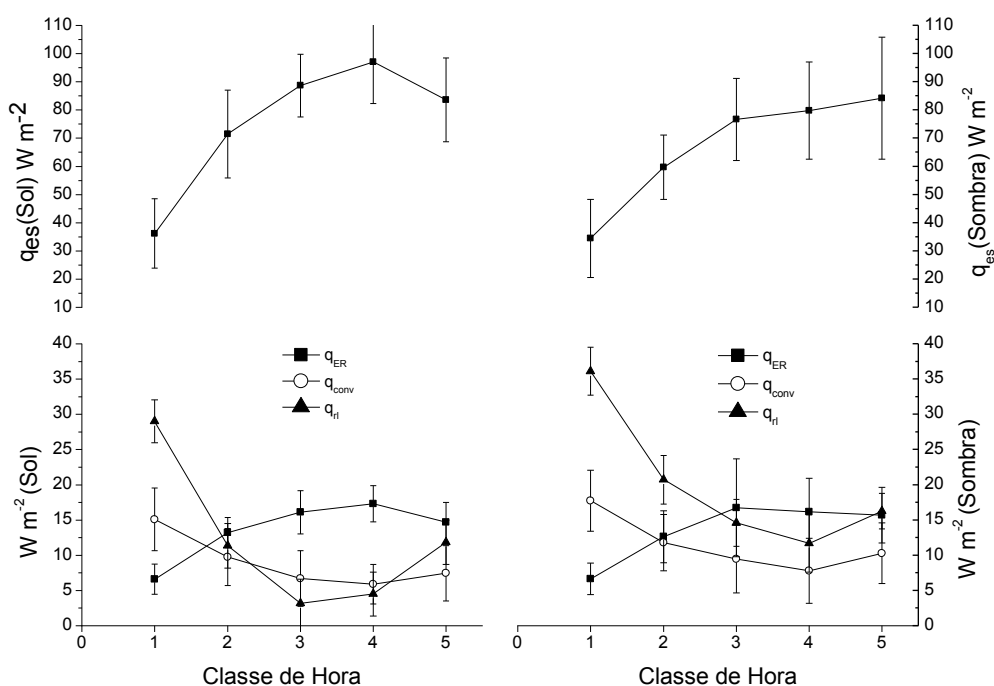


Figura 9. Perdas de calor por evaporação cutânea (q_{es}), evaporação respiratória (q_{ER}), convecção (q_{conv}) e radiação de ondas longas (q_{rl}) ao sol e à sombra em função das classes de hora (1=08:00-10:00; 2=10:00-12:00; 3=12:00-14:00; 4=14:00-16:00; 5=16:00-18:00) (Interação Classe de Hora x Ambiente)

Apesar de não ter sido uma correlação tão expressiva, houve uma correlação positiva (0,55589) entre a emissão de CH_4 e a produção de calor metabólico (Figura 10). Ou seja, ao aumentar a produção de calor metabólico haverá um aumento da emissão de CH_4 . A correlação entre a emissão de metano e o dióxido carbono também foi positiva (0,3178). Como esse aumento da emissão de CO_2 foi discreto as alterações fisiológicas, como aumento de pH sanguíneo e consequente alcalose respiratória (Schmidt-Nielsen, 2013), não podem ser considerados nesses animais.

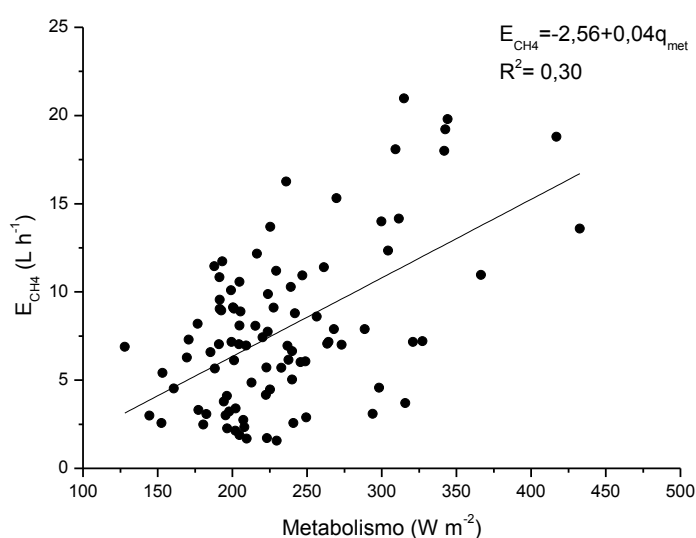


Figura 10. Emissão de metano por bovinos de corte em função do metabolismo.

Com o aumento da temperatura do ar os mecanismos sensíveis de perda de calor muitas vezes se tornam mecanismos de ganho de calor. Já os mecanismos latentes passam a ser indispensáveis para a termorregulação do animal (Silva e Maia, 2013), embora o aumento da frequência respiratória possa gerar calor metabólico (MAIA et al., 2011). Houve uma correlação positiva entre a perda de calor por evaporação da superfície e a temperatura do ar (0,89884) (Figura 11). Jiang et al (2005) explicam essa relação de forma bastante clara. Eles estudaram o efeito da temperatura do ambiente na predição dos fluxos sensíveis e evaporativos e constatou que em temperaturas ambiente de 25, 30 e 35 °C com radiação de 550 W m^{-2} houve um ganho de calor sensível de 28,6, 37,6 e 48,5 W m^{-2} e uma evaporação de 74,1, 76,9 e 76,3 W m^{-2} , respectivamente.

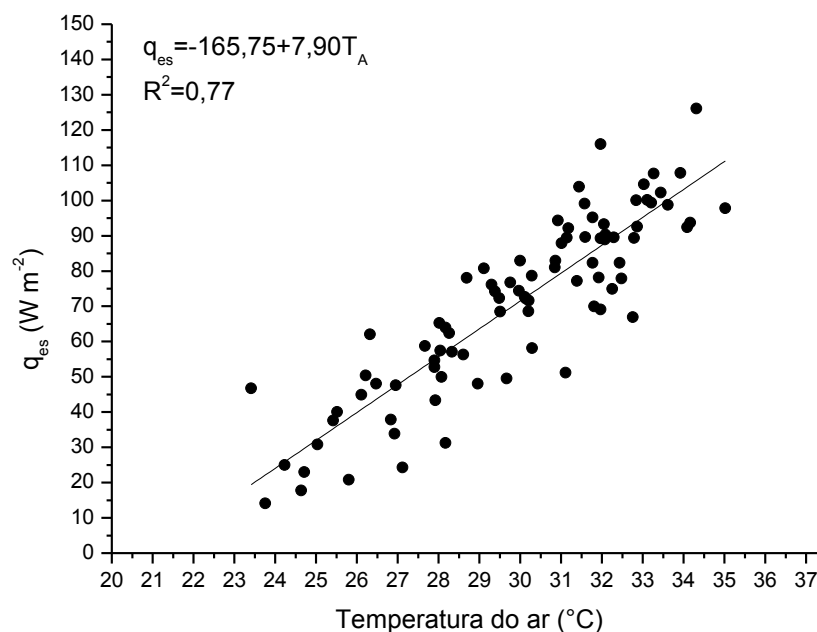


Figura 11. Perda de calor por evaporação da superfície de bovinos Nelore em função à temperatura do ar.

Já o aumento da umidade relativa do ar interfere negativamente nos processos evaporativos, pois diminui a capacidade da atmosfera em receber vapor de água. Verificou-se uma correlação negativa (-0,83913) entre a perda de calor por evaporação da superfície e a umidade relativa do ar (Figura 12). Isso vai de acordo com estudo realizado com McLean (1963b). Segundo Gebremedhin et al. (2008) existe um relação inversa entre umidade e a taxa de evaporação da epiderme porque, quando a umidade está elevada, o pelame próximo a epiderme possui maior concentração de umidade do que a do pelo mais distante da pele. Isso faz que reduza o gradiente de umidade entre a pele e o pelame e consequentemente reduz a capacidade de perda de calor por evaporação cutânea.

Jiang et al. (2005) estudando o efeito da umidade sobre a evaporação da superfície em ambientes sem e com radiação (0 e 550 W m⁻²) verificaram que o aumento da umidade interfere negativamente na evaporação. No ambiente sem radiação a evaporação variou de 73,8, 54,3 e 33,7 W m⁻² nas umidades de 25, 50 e

75%; já no ambiente com 550 W m^{-2} de radiação e as mesmas umidades a evaporação variou de 76,9, 54,1 e $30,1 \text{ W m}^{-2}$, respectivamente. A mesma situação se aplica a evaporação respiratória, pois o mecanismo de perda de calor apresenta o mesmo princípio.

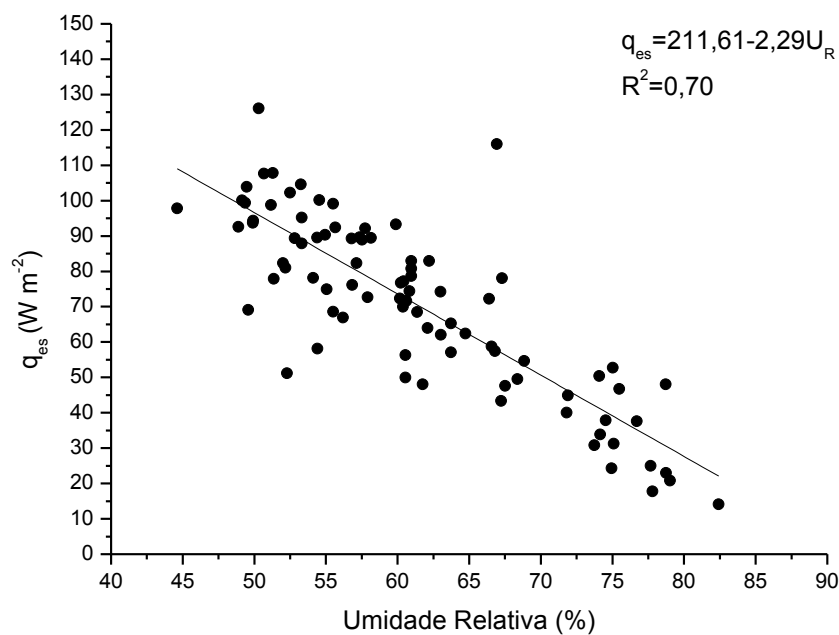


Figura 12. Perda de calor na superfície cutânea de bovinos Nelore em função da umidade relativa do ar.

Outras correlações bastante expressivas foram entre a evaporação respiratória e a temperatura do ar que foi positiva (0,84251) e evaporação respiratória e a umidade relativa do ar que foi negativa (-0,81782) (Figura 13 e 14).

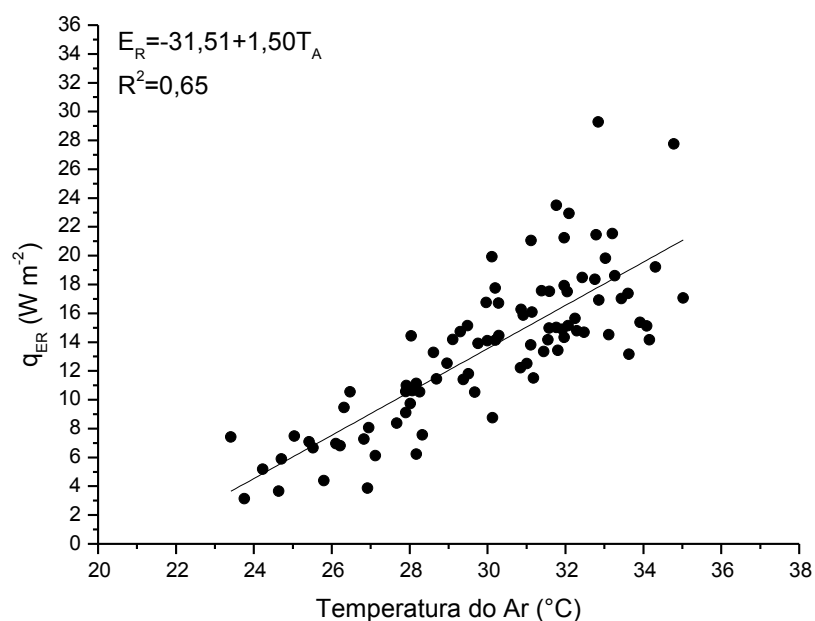


Figura 13. Perda de calor por evaporação respiratória em bovinos Nelore em função da temperatura do ar.

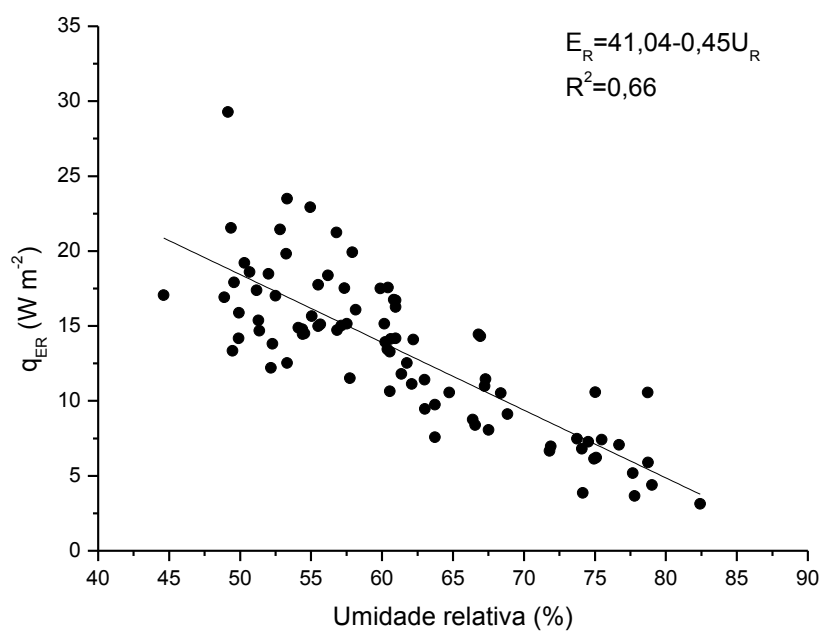


Figura 14. Evaporação respiratória de bovinos da raça Nelore em função da umidade relativa do ar.

5. CONCLUSÃO

A radiação solar de ondas curtas interfere na produção de calor metabólico e na emissão de metano por bovinos da raça Nelore. Também há uma correlação positiva entre a produção de calor metabólico e a emissão de metano por esses animais.

A perda de calor por evaporação respiratória pouco contribuiu na dissipação do calor produzido pelo metabolismo. A evaporação cutânea, no entanto, contribuiu de forma mais expressiva, porém não foi suficiente para dissipar por completo a energia térmica produzida pelo metabolismo. Isso evidencia que a estocagem de energia térmica longo do dia é um mecanismo essencial para o sucesso adaptativo e produtivo dessa raça.

6. REFERÊNCIAS

ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. Disponível em: < http://www.abiec.com.br/noticia.asp?id=913#.UeAt7kEp_6M>

ACBN. Associação dos Criadores de Nelore do Brasil. Disponível em: < <http://www.nelore.org.br>>

Arcuri, P. B.; Lopes, F. C. F; e Carneiro, J. C. Microbiologia do rúmen. In: Berchielli, T. T.; Pires, A. V.; Oliveira, S. G. **Nutrição de Ruminantes**. Jaboticabal: Funep, 2^a ed, 2011. p.115-147.

Arkin, H.; Kimmel, E.; Berman, A.; Broday, D. Heat transfer properties of dry and wet furs of dairy cows. **Transactions of the ASAE**, v. 34, p. 2550-2558, 1991.

Bicego, K. C., Barros, R. C. H. e Branco, L. G. S. Physiology of temperature regulation: Comparative aspects. **Comparative Biochemistry and Physiology** 147, 616-639, 2007.

Blake, D.R.; Rowland, F.S. Continuing worldwide increase in tropospheric methane, 1978 to 1987. **Science**, v. 239, n. 4844 ,p. 1129-1131, Mar. 1988.

Blaxter, K. L. Techniques in energy metabolism studies and their limitations. **Proceedings of Nutrition Society**, 26, 86-96, 1967.

Boadi, D. A.; Wittenberg, K. M.; Kennedy, A. D. Validation of the sulphur hexafluoride (SF₆) tracer gas technique for measurement of methane and carbon dioxide production by cattle. **Can. J. Anim. Sci.** 82: 125–131, 2002.

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.

Brook, E.; Sowers, T.; e Orchardo, J. Rapid variations in atmospheric methane concentration during the past 110,000 years. **Science**. 273, 1087-1091, 1996.

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

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.

Chappellaz, J.; Blunier, T.; Kints, S.; Dallenbach, A.; Barnola, J.; Schwander, J.; Raynaud, D.; Stauffer, B. Changes in the atmospheric CH₄ gradient between Greenland and Antarctica during the Holocene. **J. Geophys. Res.**, v. 102, n. D13, p. 15987-15997, July 1997.

Cicerone, R.J.; Oremland, R.S. Biogeochemical aspects of atmospheric methane. **Global Biogeochem. Cycles**, v. 2, n. 4, p. 299-327, Dec. 1988.

Crutzen, P.J., I. Aselmann and W. Seiler. Methane Production by Domestic Animals, Wild Ruminants, Other Herbivorous Fauna, and Humans. **Tellus**. 38B, 271-284, 1986.

Demeyer, D. I.; Van Nevel, C.J. (1975). Methanogenesis, an integrate part of carbohydrate fermentation and its control. In: Digestion and Metabolism the Ruminant. MacDonald, I.W. and Warner, A.C.I. (eds). **Proc. Int. Symp. of Ruminant Physiology**, Sydney 1974, University of New England Publishing Unit, Australia, pp. 366-382.

Denmead, O. T. Measuring fluxes of CH₄ and N₂O between agriculture systems and the atmosphere. In: Minami, K.; Mosier, A.; Saas, R. (Eds), **CH₄ and N₂O: Global Emissions and Controls form rice Fields and Other Agricultural and Industrial Sources**, NIAES, Tokyo, 209-224p. 1994.

DeRamus,, H. A.; Clement, T. C.; Giampola, D. D.; Dickison, P. C. Methane Emissions of Beef Cattle on Forages: Efficiency of Grazing Management Systems. **J. Environ. Qual.** 32:269–277, 2003.

Dickinson, R.E.; Cicerone, R.J. Future global warming from atmospheric trace gases. **Nature**, v. 319, n. 6049, p. 109-115, Jan. 1986.

Donner, L.; Ramanathan, V. Methane and nitrous oxide: their effects on the terrestrial climate. **J. Atmos. Sci.**, v. 37, n. 1, p. 119-124, Jan. 1980.

FAO. Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação. **Estatísticas FAO**, 2003. Disponível em: <www.fao.org>.

Finch, V. A., Bennett, I. L., and Holmes, C. R. Sweating response in cattle and its relation to rectal temperature, tolerance of sun and metabolic rate. **J. Agric. Sci.** 99, 479-87, 1982.

Finch, V. A.; Bennett, I. L.; Holmes, C. R. Coat color in cattle: effect of thermal balance, behaviour and growth and relationship with coat type. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 102 p. 141-147, 1984.

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

Findlay, J. D. The Respiratory Activity Of Calves SubjectedTo Thermal Stress. **J. Physiol.** Vol. 36, p. 300-309, 1957.

Freund, R.J.; Littell, R.C. **SAS® System for Regression**, 3rd ed. SAS Institute Inc, Cary, NC, 2000.

Gebremedhin, K. G.; Wu, B. A model of evaporation cooling of wet skin surface and fur layer. **J Therm Biol** 26:537–545, 2001.

Gebremedhin, K. G.; Cramer, C. O.; Porter, W. P. (1981) Predictions and measurements of heat production and food and water requirements of Holstein calves in different environments. **Trans ASAE** 3:715–720, 1981.

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*, vol 51 (6): 2167-2178, 2008.

Gebremedhin, K. G.; Ni, H.; Hillman, P. E. Modeling temperature profile and heat flux through irradiated fur layer. *Transactions of the ASAE*, vol 40(5): 1441-1447, 1997.

Gebremedhin, K. G.; Lee, C. N.; Hillman, P. E.; Collier, R. J. Physiological responses of dairy cows during extended solar exposure. **Transactions of the ASABE**, vol 53 (1), 239-247, 2010.

Gonzalez, J.E.; Blaxter, K.L. The metabolism and thermal regulation of calves in the first month of life. **Brit. J. Nutr.** 16, 199-212, 1962.

Grainger, C.; Clarke, T.; McGinn, S. M.; Auldist, M. J.; Beauchemin, K. A.; HANNAH, M. C.; Waghorn, G. C.; Clark, H. AND Eckard, R. J. Methane Emissions from Dairy Cows Measured Using the Sulfur Hexafluoride (SF6) Tracer and Chamber Techniques. **J. Dairy Sci.** 90:2755–2766, 2007.

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

Holmes FL. **Lavoisier and the chemistry of life. An exploration of scientific creativity**. Madison, WI: University of Wisconsin Press; 1985.

Holmes, C. W.; McLean, N. A. Effect of air temperature and air movement on the heat produced by young Friesian and Jersey calves, with some measurements of the effects of artificial rain, **N. Z. J. Agric. Res.** 18, 277-288, 1975.

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.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário 2010. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 12 agosto de 2012.

IPCC AR4/SPM, 2007. Contribution of Working Group I for the Fourth Assessment Report (AR4), Summary for Policy Makers (SPM), WMO/UNEP, Genebra, Suíça.

Jiang, M.; Gebremedhin, K. G.; Albright, L. D. Simulation of skin temperature and sensible and latent heat losses through fur layers. **Trans ASAE** 48(2):767–775, 2005.

Johnson, K.; Huyler, M.; Westberg, H.; Lamb, B.; Zimmerman, P. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF6 tracer technique. **Eviron. Sci. Technol.**, v.28, p.359-362, 1994.

Jouzel, J.; Jouzel, N.I.; Barkov, J.M.; Barnola, M.;Bender, J.; Chappellaz, C.; Genthon, V.M.; Kotlyakov, V.; Lipenkov, C.; Lorius, J.R.; Petit, D.; Raynaud, G.; Raisbeck, C.; Ritz, T.; Sowers, M.; Stievenard, F.; Yiou, F.; e Yiou, P. Extending the Vostok ice-core record of palaeoclimate to the penultimate glacial period. **Nature**. 364, 407-412, 1993.

Khalil, M.A.K. e Rasmussen, R.A. Global Emissions Of Methane During The Last Several Centuries. **Chemosphere**, vol. 29, n 5, 833-842 p, 1994.

Khalil, M.A.K.; Rasmussen, R.A. Atmospheric methane: trends over the last 10,000 years. **Atmospheric Environment**, v. 21, n. 11, p. 2445-2452, Nov. 1987.

Kibler, H. H.; Brody, S. Influence of temperature , 50 to 95 °F on evaporative cooling from the respiratory and exterior body surfaces in Jersey and Holstein cows. Univ Missouri agric Exp Station Res Bull nr 461., 1950.

Kleiber, M. Bioenergetica Animal: Zaragogoza: Acribia. p. 59, 1972.

Kleiber, M. **Fire of Life: An Introduction to Animal Energetics**. Publisher: Krieger Publishing Company, October, 1975.

Kozloski, G. V. **Bioquímica dos ruminantes**. Editora UFSM - 3ª edição, ISBN: 9788573910902, 2009.

Lassey, K. R. Livestock methane emission: measurement methods, inventory estimation, and global methane cicle. **Agr. Meteorol.**, v.142, p.120-132, 2007.

Lavoisier A. L.; de Laplace P. S. Memoir sur la chaleur. **Memoirs Acad Sci**. 1780 (1783).

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

Lima, M.A. Agropecuária brasileira e as mudanças climáticas globais: caracterização do problema, oportunidades e desafios. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.19, p. 451-472, 2002.

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

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

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., Domingos, H. G. T., Araújo, F. Q. A., Chiquitelli-Neto, M., Silva, R. G. **Thermoregulation in goats managed in semiarid region: a Study of production, gain and loss of heat**. In: Proceedings of the 19th International Congress of Biometeorology, Auckland, NZ, 2011.

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

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

McAllister, T. A.; okine, E. K.; Mathison, G. w.; and cheng, K. J. Dietary environmental. and microbiological aspects of methane production in ruminants. **Can. J. Anim. Sci.** ft: n1-243, 1996.

McDowell, R. E.; LEE, D. H. K.; FOHRMAN, M. H; and ANDERSON, R. S. Respiratory activity as an index of heat tolerance in Jersey and Sindhi x Jersey (F1) crossbred cows. **J ANIM SCI**, 12, 573-581, 1953.

McGinn, S. M. Beauchemin, K. A. Performance of a Dispersion Model to Estimate Methane Loss from Cattle in Pens. **J. Environ. Qual.** 38:1796–1802, 2009.

McGinn, S.M.; Turner, D.; Tomkins, N.; Charmley, E., Bishop-Hurley, G; Chen, D. Methane emissions from granzing cattle using point-source dispersion. **J. Environ. Qual.** 40:22-27, 2011.

McLean, J. A. e Tobin, C. **Animal and human calorimetry**. New York: Cambridge University Press. 1987.

McLean, J. A. Measurement of cutaneous moisture vaporization from cattle by ventilated capsules. **Journal of Physiology**, v. 167, p. 417-426, 1963a.

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

Mendelsohn, E. **Heat and life, The development of the theory of animal heat**. Harvard Cambridge, MA: University Press; 1964.

Molion, L. C. B. Aquecimento global: uma visão crítica. **Revista Brasileira de Climatologia**. ISSN: 1980-055X, agosto, 2008.

Morberg, G. P. Effects of environment and management stress on reproduction in dairy cow. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 59, p. 1618-1624, 1976.

Mosier, A. R.; Schimel, D.; Valentine, D.; Bronson, K.; Parton, W. Methane and nitrous oxide fertilized and cultivated grasslands. **Nature**, Londres, v. 350, p. 330-332, 1991.

Nkrumah, J. D.; Okine, E. K.; Mathison, G. W.; Schmid, K.; Li, C.; Basarab, J. A.; Price, M. A.; Wang, Z. e Moore, S. S. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. **Journal of Animal Science**, 84:145-153, 2006.

Oliveira, S. E. O.; Costa, C. C. M.; Sousa Júnior, J. B. F.; Queiroz, J. P. A. F.; Maia, A. S. C.; Costa, L. L. M. **Solar radiation levels tolerated by lactating Holstein cows in a semi-arid region: A study about its effects on behaviour**. In: Proceedings of the 19th International Congress of Biometeorology, Auckland, NZ, 2011.

Pinares-Patiño, C.S., Holmes, C.W., Lassey, K.R., Ulyatt, M.J. Measurement of methane emission from sheep by the sulphur hexafluoride tracer technique and by the calorimetric chamber: failure and success. **Animal** 2 (1), 141–148, 2008.

Polaquini, L. E. M.; Souza, J. G.; Gebara, J. J. Transformações técnico-produtivas e comerciais na pecuária de corte brasileira a partir da década de 90. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 1, p. 321-327, 2006.

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

Raynaud, D.; Jouzel, J.; Barnola, J.; Chapellaz, J.; Delmas, R.; e Lorius, C. The ice record of greenhouse gases. **Science**. 259, 926-934, 1993.

Revista Nelore. **Alternativas para a seleção de gado de corte**. N. 194, março, 2012. Disponível em: <
<http://www.revistanelore.com.br/pesquisa1.html#Ufe3m421H9V>>

Rogerson, A. The effect of environmental temperature on the energy metabolism of cattle. **J. Agnc. Sci.** (Camb.) 55 : 359 -366, 1960.

Schirmer, W. N. e Lisboa, H. M. Química da atmosfera: constituintes naturais, poluentes e suas reações. **TECNO-LÓGICA**, Santa Cruz do Sul, v. 12 n. 2, p. 37-46, jul./dez. 2008.

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

Schmidt-Nielsen, K.; Schroter, R. C.; e Shkolnik, A. Desaturation of exhaled air in camels. **Proc R Soc Lond B Biol Sci** 211: 305–309, 1981.

Schrama, J. W.; Van der Hel, W.; Arieli, A.; e Verstegen, M. W. A. Alteration of energy metabolism of calves fed below maintenance during 6 to 14 days of age. **J. him. Sci.** 40:2527, 1992.

Silva, R. G. Carga térmica radiante: revisando a técnica de avaliação. **Engenharia Rural**, Piracicaba, SP, v. 13, n.Unico, p. 77-84, 2002b.

Silva, R. G. **Introdução à Bioclimatologia Animal**. São Paulo: Nobel/FAPESP, 2000, p. 125.

Silva, R. G. **Manual de procedimentos em análise por quadrados mínimos**. Jaboticabal: FUNEP,1993, p. 169.

Silva, R. G.; LaScala JR, N.; Lima Filho, A. E.; Catharin, M. C. Respiratory heat loss in the sheep: a comprehensive model. **International Journal of Biometeorology**, Berlin, v. 46, p. 136-140, 2002a.

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. Evaporative cooling and cutaneous surface temperature of Holstein cows in tropical conditions. **Revista Brasileira de Zootecnia / Brazilian Journal of Animal Science**, v. 40, p. 1143-1147, 2011.

Silva, R. G.; MAIA, A. S. C. Heat Exchange Between Animals and Environment: Aquatic Mammals. In:_____. (Ed.) 1. **Principles of animal biometeorology**. New York: Springer, 2013. p. 161-179.

Silva, R. G.; MAIA, A. S. C. Special Methods. In:_____. (Ed.) 1. **Principles of animal biometeorology**. New York: Springer, 2013. p. 231-244.

Silva, R. G.; MAIA, A. S. C. Thermal balance and thermal regulation. In:_____. (Ed.) 1. **Principles of animal biometeorology**. New York: Springer, 2013. p. 75-101.

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** (Print), v. 56, p. 927-932, 2012.

Silva, R. G.; Starling, J. M. C. Evaporação cutânea e respiratória em ovinos sob altas temperaturas ambientes. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 32, n.6, p. 1-6, 2003.

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

Stern, D.; KAUFMANN, R. Estimates of global anthropogenic methane emissions 1860-1993. **Chemosphere**, v. 33, n. 1, p. 159-176, July 1996.

Stevens, D.G. A model of respiratory vapor loss in Holstein dairy cattle. **Transactions of the ASAE**, v.24 p.151-158, 1981.

Subak, S. Methane from the House of Tudor and the Ming Dynasty: anthropogenic emissions in the sixteenth century. **Chemosphere**, v.29, n. 5, p. 843-854, Sept. 1994.

Taneja, G.C. Cutaneous evaporative loss measured from limited areas and its relationship with skin, rectal, and air temperatures. **Journal of Agricultural Science**, v. 52, p. 50-61, 1959.

Taneja, G.C. Cutaneous evaporative losses in calves and its relationship with respiratory evaporative loss and skin and rectal temperatures. **Journal of Agricultural Science**, v. 50, Part.1, p. 73-85, 1958.

Thompson, A. The oxidizing capacity of the Earth's atmosphere: Probable past and future changes. **Science**, 256, 1157-1165, 1992.

Thompson, A.M. The oxidizing capacity of the earth's atmosphere: probable past and

USDA. **United States Department of Agriculture**. Disponível em: <
<http://www.ers.usda.gov/topics/international-markets-trade/countries-regions/brazil/trade.aspx#.Uff-IY21H9U>>

Valadares Filho, S. C.; Pina, D. S. Fermentação Ruminal. In: Berchielli, T. T.; Pires, A. V.; Oliveira, S. G. **Nutrição de Ruminantes**. Jaboticabal: Funep, 2ª ed, 2011. p.161-189.

Westberg, H. H.; Johnson, K. A.; Cossalman, M. W.; Michal, J. J. **A SF₆ tracer technique: methane measurement from ruminants**. Washington State University, Pullman, Washington p. 40, 1998.

Wiazowski, B. A. **Dinâmica de Sistemas: Uma Aplicação à análise da Coordenação Vertical no Agronegócio da Carne Bovina**. Viçosa, 2000. 125p. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Departamento de Economia Rural, Universidade Federal de Viçosa, 2000.

Wilder, R. M. Calorimetry. The basis for the science of nutrition. **Arch Int Med**. 103:146–54, 1959.