

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 26/02/2020.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**ESTUDO DO EQUILÍBRIO TÉRMICO ASSOCIADO À
EMISSÃO DE CH₄ EM BOVINOS NELORE MANEJADOS A
CAMPO DURANTE O PERÍODO DE 24 HORAS**

Cíntia Carol de Melo Costa
Médica Veterinária

2018

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**ESTUDO DO EQUILÍBRIO TÉRMICO ASSOCIADO À
EMISSÃO DE CH₄ EM BOVINOS NELORE MANEJADOS A
CAMPO DURANTE O PERÍODO DE 24 HORAS**

Cíntia Carol de Melo Costa

Orientador: Prof. Dr. Alex Sandro Campos Maia

Coorientadora: Profa. Dra. Telma Teresinha Berchielli

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Zootecnia

2018

C837e Costa, Cíntia Carol de Melo
Estudo do equilíbrio térmico associado à emissão de CH₄ em bovinos Nelore manejados a campo durante o período de 24 horas / Cíntia Carol de Melo Costa. -- Jaboticabal, 2018
viii, 93 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2018

Orientador: Alex Sandro Campos Maia

Coorientadora: Telma Teresinha Berchielli

Banca examinadora: Marcos Chiquitelli Neto, Vinícius de França Carvalho Fonsêca, Sheila Tavares Nascimento, Carolina Cardoso Nagib Nascimento

Bibliografia

1. Balanço térmico. 2. Bovinos de corte. 3. Calorimetria indireta. 4. Termorregulação. 5. Emissão de metano I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 661.9:636.2

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



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal




CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ESTUDO DO EQUILÍBRIO TÉRMICO ASSOCIADO À EMISSÃO DE CH₄ EM BOVINOS NELORE MANEJADOS A CAMPO DURANTE O PERÍODO DE 24 HORAS

AUTORA: CINTIA CAROL DE MELO COSTA
ORIENTADOR: ALEX SANDRO CAMPOS MAIA
COORIENTADORA: TELMA TERESINHA BERCHIELLI

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


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


Prof. Dr. MARCOS CHIQUITELLI NETO
Departamento de Biologia e Zootecnia / FEIS - Ilha Solteira


Pós-doutorando VINICIUS DE FRANÇA CARVALHO FONSECA
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal


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


Pós-doutoranda CAROLINA CARDOSO NAGIB NASCIMENTO
Departamento de Zootecnia / FCAV/UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 26 de fevereiro de 2018

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 Medicina 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. Em agosto de 2011, ingressou como aluna regular no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, no nível de Mestrado, na área de Biometeorologia Animal. Durante esse período foi bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e no mês de Abril a Maio de 2013 realizou parte do seu Mestrado na Scotland's Rural College (SRUC) em Edimburgo na Escócia-Reino Unido, sob a orientação do Dr. Tony Waterhouse, através do programa Bolsa de Estágio de Pesquisa no Exterior (BEPE) da FAPESP. Obteve o título de Mestre em Zootecnia no dia 12 de Dezembro de 2013. Ingressou no curso de Doutorado em Zootecnia pelo Programa de Pós-Graduação em Zootecnia na FCAV – UNESP Jaboticabal em Março de 2014, onde foi bolsista FAPESP. Durante seis meses, de Novembro de 2016 à Maio de 2017, novamente financiada pelo programa BEPE da FAPESP, realizou seu Doutorado Sanduíche no CSIRO em Brisbane-Austrália, sob a orientação da Dra. Gene Wijffels. É integrante do Grupo de Inovação em Biometeorologia Animal (INO BIO) e atua na área de Biometeorologia Animal, especialmente dedicando-se ao estudo do balanço térmico em bovinos de corte.

Epígrafe

Estas são as coisas que penso e que nunca quis te dizer, preferindo fazer que as sentisses por ti mesmo. Porque só valem as experiências que fazemos com a nossa própria carne. Pode ser que tudo isso seja apenas um grande sonho. Mas sonhar também é humano.

Érico Veríssimo.

Dedicatória

Dedico aos meus pais, Francisco Jacinto da Costa (*in memoriam*) e Maria de Fátima de Melo Costa, meus mestres da vida! Ensinarão-me a ser um ser humano honesto e a respeitar o próximo, valores estes que são a maior riqueza que eu poderia herdar. Eles que me guiaram no caminho da honradez e são meus exemplos de bondade, amor e caráter. Sem vocês eu nada seria. Amo vocês e hoje tenho a certeza que nem a morte há de findar esse sentimento.

Dedico esta tese também àqueles que me ajudaram a construí-la. Muitos foram os esforços e obstáculos superados, lutamos, meus caros, e vencemos. Professor Dr. Alex Maia, Dr. Vinícius de França Carvalho Fonsêca, Patric André Castro, Eric de Andrade Culhari, Gustavo Moura e Bruno Rodrigo Simão, OBRIGADA! Certamente sem vocês nada disto seria possível. Vocês foram meus olhos, minhas mãos, meu cérebro durante a condução do experimento e eu serei eternamente grata a tudo que vocês fizeram. Cada letra aqui escrita há um pouco da dedicação e empenho de cada um de vocês.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pois muitas vezes foi somente a minha fé que me manteve firme nessa caminhada. Agradeço por muitas vezes ser único ouvir meu choro de desespero e por nunca, um momento sequer, abandonar-me. “Senhor, eu creio, mas aumentai a minha fé!”.

Aos meus pais, por serem meu combustível e exemplo para que eu conseguisse terminar essa grande batalha.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Jaboticabal, por ter sido a minha casa por 6 anos, os quais foram os mais incríveis da minha vida. Obrigada por me acolher e me oferecer esse estrutura maravilhosa. Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia pela oportunidade de realizar meu Doutorado em um Programa de excelência e por proporcionar tantas oportunidades. Ao meu Orientador, Prof. Dr. Alex Sandro Campos Maia, por acreditar em mim e realmente desempenhar sua função com maestria. Obrigada, por todo conhecimento passado e por ser um exemplo de profissional para mim. Tenho muito orgulho de ser sua orientanda.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), por conceder a mim uma bolsa, indispensável para que eu conseguisse realizar e concluir meu Doutorado (Processo FAPESP N° 2014/11170-7). Agradeço também pelo financiamento do Projeto de Pesquisa (Processo FAPESP N° 2014/09639-7) ao qual o meu projeto de Doutorado estava vinculado. Além disso, agradeço por conceder a Bolsa de Estágio e Pesquisa no Exterior (BEPE) (Processo FAPESP N° 2016/15558-5) que me deu a oportunidade de passar seis meses na Austrália. Serei eternamente grata por todas às oportunidades que a FAPESP me proporcionou.

À CAPES pela concessão da bolsa durante os primeiros meses de doutorado. Ao Laboratório de Biometeorologia Animal e ao Grupo de Inovação em Biometeorologia Animal (INO BIO), por me oferecerem a estrutura física, todos os equipamentos, tecnologias para desenvolvimento do meu projeto. Vocês foram essenciais para que essa tese fosse construída.

Ao meu grande amigo, Eduardo Alves de Almeida, por ser meu parceiro em tantas jornadas. Você é muito mais que um amigo, é a família que Deus me permitiu escolher. Obrigada por estar ao meu lado, por me apoiar e confiar em mim. Você é um ser iluminado e agradeço demais a Deus por ter cruzado os nossos caminhos. Amo você!

Aos meus amigos Roberta Valença, Adriana Trinca e Lucas Vizentim pela amizade e momentos reconfortantes. Nossas conversas sempre tão cheias de amor e conhecimento. Obrigada por me trazerem momentos de leveza!

Aos meus amigos de Laboratório que estiveram comigo durante toda essa caminhada: Angela Regina Arduino, Sheila Tavares Nascimento, Carolina Cardoso Nagib Nascimento, Vinícius de França Carvalho Fonsêca, Marcos Davi de Carvalho, Leandro Zuccherato Camerero, Patric André Castro, Gustavo Moura, Bruno Rodrigo Simão. Vocês são muito especiais para mim! Obrigada por toda ajuda e amizade.

Aos meus mestres que desde a minha graduação vêm me inspirando e orientando. Aos meus familiares (tios, tias, primos, primas e agregados) que mesmo de longe sempre me apoiaram.

Aos funcionários da FCAV/UNESP que sempre foram gentis e me ajudaram a trilhar esse caminho.

Aos meus amigos Danilo Almeida e Marcelo Rodrigues que sempre foram tão motivadores e me trouxeram tanta alegria durante essa jornada. Cito o nome deles para representar também todos os meus amigos da Academia Saúde Total, obrigada por tudo.

Aos meus sogros, Suely Chechi e José Chechi que são tão maravilhosos e cuidam de mim como filha. Palavras são pouco diante de ações, por isso espero estar respondendo a altura tudo o que vocês fazem por mim. Amo vocês!

Ao meu namorado, Nilson Pazini, um companheiro sem igual. Você que é uma fonte constante de alegria e motivação, amoroso, cuidadoso e sempre com um olhar gentil e um sorriso reconfortante. Obrigada por sempre me apoiar e por acreditar em mim, obrigada por ser exatamente do jeito que você é, com sua humildade e com essa alma tão linda e iluminada. Tenho muita sorte em dividir a minha vida contigo! Eu te amo, vida!

SUMÁRIO

Certificado da Comissão Interna de Biossegurança.....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT	vii
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Atmosfera, composição e gases do efeito estufa.....	3
2.2. Bovinocultura de corte e emissão dos gases do efeito estufa	5
2.3. Estudo do equilíbrio térmico em bovinos	9
2.3.1. Mecanismos de transferência de calor sensível em bovinos	11
2.3.2. Mecanismos de transferência de massa em bovinos	14
2.3.3. Produção de calor metabólico em bovinos	17
3. OBJETIVOS.....	20
3.1. Objetivo geral	20
3.2. Objetivos específicos	20
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	21
5. REFERÊNCIAS	21
CAPÍTULO 2 – Thermal equilibrium of Nelore cattle in tropical conditions: an investigation of circadian pattern.....	30
Abstract.....	30

Highlights	31
1. Introduction.....	31
2. Material and Methods	33
2.1. Animal specifics and experimental design	33
2.2. Pens, data recording structures and handling.....	33
2.3. Environmental measurements	34
2.3. Physiological parameters.....	34
2.4. Thermal equilibrium determination.....	35
2.5. Statistical analyses	35
3. Results	36
4. Discussion	42
5. Conclusions.....	47
6. Acknowledgements	47
7. References	48
Supplementary file	54
 CAPÍTULO 3 – Circadian variation of enteric methane emission by Nellore beef cattle.....	 65
Abstract.....	66
Implication.....	67
Introduction	67
Material and methods.....	69

Site.....	69
Animals and experimental design	70
Training process, housing, and feeding management	70
Meteorological variables	71
Gases exchanges: System design and operation.....	72
Methane emission and metabolic heat production.....	73
Statistical analysis.....	75
Results	76
Discussion.....	82
Conclusions	86
Acknowledgement.....	86
References.....	87


Certificado da Comissão Interna de Biossegurança



CERTIFICADO

Certificamos que o Protocolo nº 8410/15 do trabalho de pesquisa intitulado **"Estudo do equilíbrio térmico associado à emissão de CH₄ em bovinos Nelore manejados a campo durante o período de 24 horas"**, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Alex Sandro Campos Maia, está de acordo com os Princípios Éticos na Experimentação Animal adotado pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA) e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), em reunião ordinária de 11 de maio de 2015.

Jaboticabal, 11 de maio de 2015.



Prof.ª Dr.ª Paola Castro Moraes
Coordenadora – CEUA

ESTUDO DO EQUILÍBRIO TÉRMICO ASSOCIADO À EMISSÃO DE CH₄ EM BOVINOS NELORE MANEJADOS A CAMPO DURANTE O PERÍODO DE 24 HORAS

RESUMO – Diante do cenário climático global atual se torna importante entender quais os impactos de uma atmosfera aquecida sobre o equilíbrio térmico em animais de produção, especialmente em bovinos. A quantificação da emissão de gases do efeito estufa desses animais também se faz importante, pois apesar dessa atividade ter impacto positivo na economia nacional, do ponto de vista ambiental o seu impacto é negativo, devido ao fato da fermentação entérica contribuir com emissões de metano. Portanto, o objetivo desse estudo é avaliar a influência das condições meteorológicas sobre a termorregulação de bovinos da raça Nelore associada à emissão de metano durante o período circadiano. Para tanto, foi realizado estudo no Laboratório de Biometeorologia Animal da Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, Brasil, em Dezembro de 2016. Seis bovinos da raça Nelore com peso e idade semelhantes foram avaliados em um desenho experimental de quadrado latino, com 24 classes de horas (1-2h; 3-4h; ...; 23 - 24h; 24 -1h) durante vinte dias consecutivos). As coletas de dados foram realizadas com os animais protegidos da radiação solar e chuva. Os parâmetros respiratórios: porcentagem de oxigênio (O₂; %), dióxido de carbono (CO₂; %), metano entérico (CH₄, %) pressão de vapor do ar expirado ($[P_s\{T_{EXP}\}]$, kPa), frequência respiratória (R_R; resp. min⁻¹) e ventilação (V_E; L s⁻¹) foram quantificados usando o sistema de calorimetria indireta; além disso, a temperatura da superfície (T_S, °C), pele (T_{EP}, °C) e temperatura retal (T_R, °C) foram medidas usando sensores de temperatura. A produção de calor metabólico (q^{met}), fluxo de calor sensível (q^{sens}), perda de calor pelo trato respiratório (q^{er}), evaporação cutânea (q^{es}) e emissão de metano entérico (eCH₄; g h⁻¹) foram calculados. As variáveis meteorológicas foram medidas em intervalos de um minuto durante cada dia de coleta usando uma estação meteorológica portátil. Os volumes de O₂ e CO₂ mudaram moderadamente durante as 24 horas, o que resultou em uma média de produção de calor metabólico de 151,45 ± 13,60 W m⁻². Quando o gradiente de temperatura estava alto (T_S – T_A; das 24:00 às 7:00), a transferência de calor

sensível correspondeu a aproximadamente 60% do metabolismo, porém das 11:00 até às 17:00, quando a temperatura do ar estava mais elevada, a perda de calor por evaporação cutânea passa a representar cerca de 53% da perda de calor total. As respostas fisiológicas termorreguladoras de bovinos Nelore, em uma variação de 20 a 30°C de T_A , permanecem relativamente estáveis durante 24 horas, sendo um bom indicativo de baixa perda de energia para regulação térmica corporal. A emissão de metano de bovinos Nelore confinados, com 30 meses de idade, alimentados para manutenção, foi de aproximadamente 33 g dia⁻¹ animal⁻¹. A variação circadiana de metano entérico (CH₄) foi claramente associada ao horário de alimentação, não estando relacionada a variação meteorológica. O circuito aberto de calorimetria indireta, usando uma máscara facial não ventilada propicia valiosos detalhes sobre o padrão diário da emissão de metano de bovinos Nelore, associado com o O₂ consumido e CO₂ produzido. Portanto este trabalho foi capaz de avaliar o equilíbrio térmico de bovinos Nelore adultos, além descrever a variação circadiana de emissão de metano, bem como a relação dessas variáveis com as condições meteorológicas de ambiente tropical. Com isso, este trabalho traz contribuições altamente relevantes para a área, com resultados inéditos e inovações.

Palavras-chave: Balanço térmico, bovinos de corte, calorimetria indireta, termorregulação, emissão de metano

STUDY OF THERMAL EQUILIBRIUM ASSOCIATE WITH CH₄ EMISSION IN NELLORE CATTLE MANAGED IN THE FIELD DURING A PERIOD OF 24 HOURS

ABSTRACT – Given the current global climate scenario becomes important to understand what the impacts of a warmer atmosphere on the thermal balance in livestock. Quantifying the emission of greenhouse gases of these animals also becomes important because this activity has a positive impact on the national economy, however, the environmental point of view the impact is negative, because of the contribution of methane emission by enteric fermentation. Therefore, the aim of this work is study the influence of meteorological condition on thermoregulation of Nellore cattle associated with the emission of methane throughout the day. For this, it was done a study at the Animal Biometeorology Laboratory of the São Paulo State University, Jaboticabal, Brazil (21.25° S, 601 m altitude) in December of 2016. Six Nellore cattle with similar weight, age and body condition were assigned in a Latin Square experimental design (24 classes of hours (1-2h; 3-4h; ...; 23 - 24h; 24 -1h) during twelve days). Evaluations were performed with animals protected from direct solar radiation and rain overnight. Respiratory parameters as percentage of oxygen (O₂; %), carbon dioxide (CO₂; %), methane emission (CH₄, %), water vapor pressure ($P_{S\{T_{EXP}\}}$; kPa), respiratory rate (R_R , breaths min⁻¹) and ventilation (V_E ; L s⁻¹) were quantified using an indirect calorimetry system; furthermore, hair coat surface (T_S , °C), skin (T_{EP} , °C) and rectal temperature (T^R , °C) were recorded with thermocouple. Metabolic heat production (q''_{met}), sensible heat flow (q''_{sens}), heat loss from respiratory tract (q''_{er}) and cutaneous evaporation (q''_{es}) and methane emission (eCH_4 , g h⁻¹) were calculated. Meteorological conditions were measure at regular one-minute intervals during each day with a portable weather station. Volumes (L h⁻¹) of O₂ and CO₂ changed moderately throughout the 24 hours, which resulted in an average metabolic heat production of 151.45 ± 13.60 W m⁻². At the largest thermal gradient ($T_S - T_A$; from 24:00 h to 7:00 h), heat transferred by sensible mechanisms corresponded near to 60 % of the metabolism, but at 11:00 h until 17:00 h, when T_A was elevated, the cutaneous evaporation represented approximately 53 % of total heat losses. From 20 to 30 °C, thermoregulatory responses of Nellore cattle remained relatively stable over the 24 hours when

protected from direct solar radiation and rain, which seems to be a good indicative of lower energy expenditure for body thermal regulation. Enteric methane emission of housed 30-mo-old Nellore cattle fed at requirement maintenance on DM basis is approximately $33 \text{ g day}^{-1} \text{ animal}^{-1}$. Circadian variation of enteric methane emission was clearly associated to the feed time, being not related with meteorological conditions. The open indirect calorimetry system using a non-ventilated facial device provided valuable details on daily pattern of enteric CH_4 production of Nellore cattle and its association with O_2 consumption and CO_2 output. So, this work evaluated the thermal equilibrium of adult Nellore cattle, besides to describe the circadian variation of methane emission, as well as the relationship of these variables with tropical meteorological conditions. Thereby, this work has relevant contributions with inedited results and innovation.

Keywords: Thermal balance, beef cattle, indirect calorimetry system, thermoregulation, methane emission

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO

A população mundial atualmente compreende mais de 7 bilhões de habitantes e vem apresentando um crescimento bastante expressivo. De acordo com projeções da Organização das Nações Unidas – ONU (2017) em 2050 serão mais de 9 bilhões. Diante dessa condição surge a dúvida de como essas pessoas irão se alimentar. É indiscutível que será necessário que aumentar a produção mundial de alimentos, mas outro ponto crucial é que isto deve ser feito de forma sustentável, aumentando a produtividade, melhorando a gestão da água, mitigando emissão de gases do efeito estufa, dentre outros. Nesse contexto, além da sustentabilidade, outro aspecto importante vem sendo discutido mundialmente, que é o agravamento do efeito estufa e a consequente elevação da temperatura global.

Sabe-se que a agropecuária é uma das atividades que contribuem para emissão de gases do efeito estufa (SEEG, 2017). Dentre eles pode-se citar o metano (CH_4), sendo uma das principais vias de produção desse gás o processo de fermentação ruminal, o qual é liberado em maior porcentagem pelas vias respiratórias (narinas, cavidades nasais, faringe e laringe) ou pelo processo de eructação.

O Brasil é um dos maiores produtores de alimento do mundo, sendo o país que possui o segundo maior rebanho comercial de bovinos de corte, dos quais 85 % são registrados como bovinos da raça Nelore (McManus et al., 2009; McManus et al., 2016). A representatividade dos animais dessa raça nacional e internacional é indiscutível. E no cenário mundial de mudanças climáticas e sustentabilidade é de grande importância estudar o impacto causado por esses animais.

Nesse sentido, o estudo da emissão de metano de bovinos da raça Nelore é uma forma de contribuir para formação de banco de dados que possam contribuir

com o processo de mitigação, focando principalmente em um processo de produção sustentável. Poucos são os estudos envolvendo a emissão de metano de bovinos dessa raça no Brasil. Na literatura, a maioria dos estudos utiliza a metodologia do SF₆ (JOHNSON e JOHNSON, 1995; PRIMAVESI et al. 2004; SAN VITTO et al., 2016) que consiste no uso de uma pequena cápsula de permeação com SF₆, inserida no rúmen do animal, um cabresto com tubo capilar conectado a uma canga que coleta do ar em torno do focinho e das narinas do animal, ao fim da coleta diária, as concentrações de CH₄ e de SF₆ são determinadas por cromatografia gasosa. Porém esta metodologia apenas fornece a emissão total dos animais por um período de tempo, sendo portanto uma limitação.

Além disso, esses animais estão constantemente expostos às variações ambientais. Estas podem influenciar o comportamento e podem gerar alterações fisiológicas importantes que apresentam consequências para a produção. Portanto, é indispensável o estudo do equilíbrio térmico de Bovinos da raça Nelore em condições em que se possa avaliar influência das variáveis meteorológicas sobre os componentes do equilíbrio térmico desses animais. Nesse sentido, o uso da calorimetria indireta no estudo da produção e transferência de calor e massa é fundamental, pois ela oferece essa possibilidade, além de poder medir juntamente a emissão de metano e mostrar sua distribuição ao longo do período mensurado.

Existem na literatura alguns trabalhos que abordam a influência das variáveis meteorológicas sobre equilíbrio térmico de *Bos indicus* (Camerro et al 2016 e de Melo Costa et al. 2017), porém só trabalharam com animais no período diurno, totalizando no máximo 10 horas de estudo. Isso limita a abordagem de algumas variáveis fisiológicas associadas à termorregulação que podem ser evidenciadas durante um ciclo de coletas de 24 horas, além de que nesse período há uma maior amplitude das variáveis meteorológicas, podendo influenciar os resultados. Isso evidencia que estudos mais aprofundados são necessários, a fim de elucidar lacunas de conhecimento acerca do processo termorregulatório de bovinos de corte, especialmente os da raça Nelore, que possuem uma representatividade

nacional enorme e conseqüentemente mundial. Portanto, o objetivo desse trabalho é avaliar o equilíbrio térmico de bovinos Nelore durante o período de 24 horas, associando com a emissão de metano e verificando a influência da variação dos fatores meteorológicos sobre essas variáveis.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o que foi explanado fica evidenciado que o balanço térmico e a emissão de metano de bovinos da raça Nelore são pontos de grande importância no âmbito científico. Ficou claro também que a literatura apresenta lacunas no que diz respeito ao estudo dessas variáveis ao longo do período circadiano, bem como a relação delas com as condições meteorológicas em ambientes não controlados. Ou seja, a revisão de literatura deu embasamento para essas questões, dando suporte aos objetivos do estudo.

5. REFERÊNCIAS

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

Bai, M.; Griffith, D. W. T.; Phillips, F. A.; Naylor, T.; Muir, S. K.; McGinn, S. M.;Chen, D. Correlations of methane and carbon dioxide concentrations from feedlot cattle as a predictor of methane emissions. **Animal Production Science**, 56, 108, 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1071/AN14550>>

Berman, A. Nychthemeral and seasonal patterns of thermoregulation in cattle. **Aust. J. agric. Res.**, 19, 181-9, 1968.

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

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.

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

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

Camerro, L. Z.; Maia, A. S. C.; Chiquitelli Neto, M.; Costa, C. C. M.; Castro, P. A. Thermal equilibrium responses in Guzerat cattle raised under tropical conditions. **J Therm Biol.** 60:213–221, 2016.

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

CEZAR, I. M.; Queiroz, H. G.; Thiago, L. R. L. S.; Cassales, F. L. G.; Costa, F. P. **Sistemas de produção de gado de corte no Brasil: uma descrição com ênfase no regime alimentar e no abate**. Documentos / Embrapa Gado de Corte. 2005, ISSN 1517-3747; 151. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte.

Collier, R. J.; Gebremedhin, K. G. Thermal Biology of Domestic Animals. **Annu. Rev. Anim. Biosci.** 3:10.1–10.20, 2015. Disponível em: <DOI 10.1146/annurev-animal-022114-110659>

Cook, J.; Nuccitelli, D.; Green, S. A.; Richardso, M.; Winkler, B.; Painting,R.; Way, R.; Jacobs, P.; Skuce, A. Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature. **Environ. Res. Lett.**, 8, 2013. Disponível em: <doi:10.1088/1748-9326/8/2/024024>

COSTA, C. C. M. **Efeito da radiação solar e temperatura na emissão de metano associado à produção e perda de calor em bovinos**. 2013.56 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

Crompton, L. A.; Mills, J. A. N.; Reynolds, C. K. Effect of feeding frequency and replacing calcium salts of palm oil with crushed rapeseed or coconut oil on methane emissions in lactating dairy cows. **Proceedings of the Nutrition Society**, 69, 2010.

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

Da Silva, R. G.; Maia, A. S. C. **Principles of Animal Biometeorology**. Springer Dordrecht Heidelberg New York London, 261 p., 2013. Disponível em: <DOI 10.1007/978-94-007-5733-2>

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

da Silva, R. G.; La Scala Jr. N.; Tonhati, H. Radiative properties of the skin and haircoat of cattle and other animals. **Transactions of the ASAE**, 46, 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.13031/2013.13567>>

Dangal, S. R. S.; Tian, H.; Zhang, B.; Pan, S.; Lu, C.; Yang, J. Methane emission from global livestock sector during 1890–2014: Magnitude, trends and spatiotemporal patterns. **Global Change Biology**, 23, 4147–4161, 2017.

Dario Caro, D.; Davis, S. J.; Bastianoni, S.; Caldeira, K. Global and regional trends in greenhouse gas emissions from livestock. **Climatic Change**, 126:203–216, 2014. Disponível em: <DOI 10.1007/s10584-014-1197-x>

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

Demeyer, D. I.; Van Nevel, C.J. 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, University of New England Publishing Unit, Australia, pp. 366-382, 1975.

DeShazer, J., Hahn, G., Xin, H. **Chapter 1: Basic Principles of the Thermal Environment and Livestock Energetics**. In:_____. (Ed.). Livestock Energetics and Thermal Environment Management, p. 1–22, 2009.

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

Fernandes, M. H. M. d. R.; Lima, A. R. C.; Almeida, A. K.; Borghi, T. H.; Teixeira, I. A. M. d. A.; de Resende, K. T. Fasting heat production of Saanen and Anglo Nubian goats measured using open-circuit facemask respirometry. **J Anim Physiol Anim Nutr**, 101: 15–21, 2017. Disponível em: <DOI:10.1111/jpn.12512>

Finch, V. A. Body temperature in beef cattle: its control and relevance to production in the tropics. **J. Animal. Sci.**, 62:531-542, 1986.

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

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.; Bennett, I. L.; Holmes, C. R. Sweating response in cattle and its relation to rectal temperature, tolerance of sun and metabolic rate. **J. agric. Sci., Camb.** 99, 479-487, 1982.

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

Fonsêca, V C F; Saraiva, E. P.; Maia, A. S. C.; Nascimento, C. C. N.; Silva, J. A.; Pereira, W. E.; Pimenta Filho, E. C.; Almeida, M. E. V. Models to predict both sensible and latent heat transfer in the respiratory tract of Morada Nova sheep under semiarid tropical environment. **Int J Biometeorology**, 61: 777. 2017. Disponível em: <DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1255-3>>

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

Gaughan, J. B.; Holt, S. M.; Hahn, G. L.; Mader, T. L.; Eigenberg, R. Respiration Rate – Is It a Good Measure of Heat Stress in Cattle? **Asian-Aus. J. Anim. Sci.**, 13 Supplement, 329-332, 2000.

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.; Lee, C. N.; Hillman, P. E.; Collier, R. J. Physiological Responses of Dairy Cows during Extended Solar Exposure. **Transactions of the ASABE**, 53(1): 239-247. 2010. doi: 10.13031/2013.29499

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.

Hales, J. R., Fawcett, A. A., Bennett, J. W., Needham, A. D. Thermal control of blood flow through capillaries and arteriovenous anastomoses in skin of sheep. **Pflugers Arch.**, 378, 55–63, 1978.

Hansen, P. J. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. **Anim Reprod Sci.** 83:349–360, 2004.

Hulshof, R. B. A., A. Berndt, W. J. J. Gerrits, J. Dijkstra, S. M. van Zijderveld, J.R. Newbold, and H. B. Perdok. Dietary nitrate supplementation reduces methane emission in beef cattle fed sugarcane-based diets¹. **J. Anim. Sci.** 90:2317-2323, 2012. Disponível em: DOI:10.2527/jas.2011-4209

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.

Intergovernmental panel on climate change – IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, p. 151, 2014.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Emissions from livestock and manure management. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories.** Vol. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, 2006.

Johnson, K. A. Johnson and Johnson, D. E. Methane emissions from cattle. **J Anim Sci**, 73:2483-2492, 1995.

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. Effects of Temperature, 50° to 105° F and 50° to 9° F on heat Production and Cardiorespiratory Activities in Brahman, Jersey and Holstein Cows. **Research Bulletin 464**, University of Missouri College of Agriculture Agricultural Experiment Station, February, 1950.

Kibler, H. H.; Brody, S. Influence of diurnal temperature cycles on heat production and cardiorespiratory activities in Holstein and Jersey cows. **Research bulletin 601**, University of Missouri College of Agriculture Agricultural Experiment Station, February, 1956.

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

Lockyer, D. R. Methane emissions from grazing sheep and calves. **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, 2005c.

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.; Nascimento, S. T.; Mascimento, C. C. N.; Gebremedhin, K. G. Thermal equilibrium of goats. **Journal of Thermal Biology**. 58, 43–49, 2016.

Maia, A. S. C.; Nascimento, S. T.; Mascimento, C. C. N.; Gebremedhin, K. G. Thermal equilibrium of goats. **Journal of Thermal Biology**. 58, 43–49, 2016.

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

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

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

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.

McLean, J. A. On the calculation of heat production from open-circuit calorimetric measurements. **Br. J. Nut.**, 27, 597-600, 1972.

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, 1963.

McManus, C.; Barcellos, J. O. J.; Formenton, B. K.; Hermuche, P. M.; Carvalho, O. Ad. Jr.; Guimarães, R. et al. Dynamics of Cattle Production in Brazil. **PLoS ONE**, 11(1): e0147138, 2016. Disponível em: <doi:10.1371/journal.pone.0147138>

McManus, C.; Paludo, G. R.; Louvandini, H.; Garcia, J. A. S.; Egito, A. A.; Mariante, A. S. Heat tolerance in naturalised cattle in Brazil: physical factors. **Arch. Zootec.**, 54: 453-458, 2005.

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

Milan, H. F. M.; Maia, A. S. C.; Gebremedhin, K. G. Technical note: Device for measuring respiration rate of cattle under field conditions. **J. Anim. Sci.**, 94:5434-5438, 2016. Disponível em: <doi:10.2527/jas.2016-0904>

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação MCTI - Brazil 2016. Secretariat of Policies and Programs of Research and Development. General Coordination of Global Climate Change. **Third National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change – Volume III/** Ministry of Science, Technology and Innovation. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.

Mitchell, J. F. B. The “Greenhouse” effect and climate change. **Reviews of Geophysics**, 27, 1, p. 115-139, 1989. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/RG027i001p00115>>

Ngwabie, N. M.; Jeppsson, K-H.; Gustafsson, G.; Nimmermark, S. Effects of animal activity and air temperature on methane and ammonia emissions from a naturally ventilated building for dairy cows. **Atmospheric Environment**, 45, 6760–6768, 2011.

ONU. Organização das Nações Unidas. **World Population Prospects**, 2017. Disponível em: <<https://esa.un.org/unpd/wpp/Download/Standard/Population/>>

Oss, D. B.; Marcondes, M. I.; Machado, F. S.; Pereira, L. G. R.; Tomich, T. R.; Ribeiro, G. O.; Chizzotti, M. L.; Ferreira, A. L.; Campos, M. M.; Maurício, R. M.; Chaves, A. V.; McAllister, T. A. An evaluation of the face mask system based on short-term measurements compared with the sulfur hexafluoride (SF₆) tracer, and respiration chamber techniques for measuring CH₄ emissions. **Animal Feed Science and Technology**, 216, 49–57, 2016.

Pinares-Patiño, C. S.; Ulyatt, M. J.; Lassey, K. R.; Barry, T. N.; Holmes, C. W..Rumen function and digestion parameters associated with differences between sheep in methane emissions when fed chaffed lucerne hay. **Journal of Agricultural Science**, 140, 205–214, 2003. Disponível em: <DOI: 10.1017/S0021859603003046>

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.

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.

Ramírez-Restrepo, C. A.; Tan, C.; O’Neill, C. J.; López-Villalobos, N.; Padmanabha, J.; Wang, J.; McSweeney, C. S. Methane production, fermentation characteristics, and microbial profiles in the rumen of tropical cattle fed tea seed saponin supplementation. **Animal Feed Science and Technology**, 2016, 216, 58–67.

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

Resende, K. T.; Teixeira, I. A. M. A.; Fernandes, M. H. M. R. Metabolismo de energia. In:____. (Ed.). **Nutrição de ruminantes** / Berchielli, T. T.; Pires, A. V.; Oliveira, S. G., 2ª ed. Jaboticabal: Funep, 2011. P. 323-413.

San Vito, E.; Lage, J. F.; Messana, J. D.; Dallantonia, E. E.; Frighetto, R. T. S.; Reis, R. A.; Neto, A. J.; Berchielli, T. T. Performance and methane emissions of grazing Nellore bulls supplemented with crude glycerin. **J. Anim. Sci.** 94:4728–4737, 2016. Disponível em: <doi:10.2527/jas2016-0530>

Schmidt-Nielsen, K. Metabolismo energético. In:_____. (Ed.). **Fisiologia animal: adaptação e ambiente**, 5th ed. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2013. P. 169-212.

Schneider, S. H. The Greenhouse Effect: Science and Policy. **Science**, vol. 243, Issue 4892, pp. 771-781, 1989. Disponível em: <DOI: 10.1126/science.243.4892.771>

Silva, R. G. Ambiente e conforto térmico. In:_____. (Ed.). **Introdução à Bioclimatologia Animal**. São Paulo: Nobel/FAPESP, 2000, p. 76-117.

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

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

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

THOMPSON, R. D. **Atmospheric precesses and systems**. London: Routledge, 1998.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA), 2016. **Brazil, Livestock and Products Annual**, Annual Livestock 2016.

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

XU, F.; LU, T. **Introduction to skin biothermomechanics and thermal pain**. Beijing. Springer, 2011, 414p.