

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

**MONITORAMENTO DO CONFORTO TÉRMICO EM CURRAIS  
DE CONFINAMENTO DE BOVINOS UTILIZANDO O  
IN\_COMFORT\_SENSOR**

**Valéria Oliveira Valente Araújo**

**Zootecnista**

**2024**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA UNESP  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS JABOTICABAL**

**MONITORAMENTO DO CONFORTO TÉRMICO EM CURRAIS  
DE CONFINAMENTOS DE BOVINOS UTILIZANDO O  
IN\_COMFORT\_SENSOR**

**Valéria Oliveira Valente Araújo**

**Orientador: Prof. Dr. Alex Sandro Campos Maia**

**Coorientador: Hugo Fernando Maia Milan**

**Coorientador: Vinícius de França Carvalho Fonsêca**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de mestre em Ciência Animal.

**2024**

Ficha catalográfica

A663m	<p>Araújo, Valéria Oliveira Valente</p> <p>Monitoramento do conforto térmico em currais de confinamentos de bovinos utilizando o In_Comfort_Sensor / Valéria Oliveira Valente Araújo. -- Jaboticabal, 2024</p> <p>59 p. : il., tabs., fotos</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal</p> <p>Orientador: Alex Sandro Campos Maia</p> <p>Coorientador: Vinícius de França Carvalho Fonsêca</p> <p>1. Fisiologia animal. 2. Estresse térmico. 3. Conforto térmico. 4. Bovinos. 5. Dispositivos eletrônicos. I. Título.</p>
-------	---

## IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

O resultado desta pesquisa foi gerado um impacto tecnológico expressivo para a produção animal frente às alterações climáticas sofridas pela aporpecuária de forma que o produto gerado “In\_Comfort\_Sensor” vá ser utilizado de maneira a otimizar as pesquisas e a produção animal, visando assertividade nas tomadas de decisões quanto ao conforto térmico dos animais além de otimizar as decisões de minimizar o estresse térmico sofrido pelos animais nos sistemas de criação, possibilitando redução nos custos de produção (por exemplo: utilização de aspersores de maneira acertiva evitando desperdício de água).

## POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The results of this research, a significant technological impact was generated for animal production in the face of climate change suffered by livestock farming, so that the product generated “In\_Comfort\_Sensor” will be used to optimize research and animal production, aiming for assertiveness in decision-making. Decisions regarding the thermal comfort of animals in addition to optimizing decisions to minimize the thermal stress suffered by animals in farming systems, enabling a reduction in production costs (for example: using sprinklers correctly, avoiding wastage of water).

# Certificado de Aprovação



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:** MONITORAMENTO DO CONFORTO TÉRMICO EM CURRAIS DE CONFINAMENTO DE BOVINOS UTILIZANDO IN\_COMFORT\_SENSOR

**AUTORA:** VALÉRIA OLIVEIRA VALENTE ARAÚJO  
**ORIENTADOR:** ALEX SANDRO CAMPOS MAIA  
**COORIENTADOR:** HUGO FERNANDO MAIA MILAN  
**COORIENTADOR:** VINICIUS DE FRANÇA CARVALHO FONSÊCA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ciência Animal, área: Fisiologia e Bem Estar Animal pela Comissão Examinadora:



Pós-Doutorado VINICIUS DE FRANÇA CARVALHO FONSÊCA (Participação Virtual)  
Departamento de Zootecnia / FCAV UNESP Jaboticabal



Profa. Dra. SHEILA TAVARES NASCIMENTO (Participação Virtual)  
Departamento de Zootecnia / Universidade Estadual de Maringá (UEM) - Maringá/PR



Profa. Dra. KALIANE NASCIMENTO DE OLIVEIRA (Participação Virtual)  
Departamento de Produção Animal e Vegetal / Universidade Federal do Amazonas (UFAM) - Manaus/AM

Jaboticabal, 01 de dezembro de 2023

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

VALÉRIA OLIVEIRA VALENTE ARAÚJO – nasceu na cidade de Manaus no Estado do Amazonas, mesma localidade em que obteve o título de Bacharela em Zootecnia pela Universidade Federal do Amazonas – UFAM em junho de 2020 (devido à Pandemia de Covid-19). Durante sua graduação fez parte do Laboratório de Forragicultura e Pastagem – LAFOPAST, desempenhou também função extensionista na AZ Empresa Jr., realizou estágio extracurricular na Secretaria de Produção Rural do Amazonas e no Instituto de Desenvolvimento Agropecuário do Estado do Amazonas. Em seguida à graduação foi bolsista FAPESP em Treinamento Técnico nível III no laboratório de bioclimatologia na FCAV Unesp Jaboticabal-SP durante 12 meses, entre 2020 e 2021, no projeto intitulado “Efeito do sombreamento nas respostas fisiológicas e comportamentais de bovinos de corte” e em seguida ingressou como discente de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal na linha de pesquisa em fisiologia e bem-estar animal com enfoque em bioclimatologia animal.

## AGRADECIMENTOS

À Deus por todas as bênçãos a mim e a minha família, para que eu conseguisse realizar a conquista do título de mestre no melhor PPG Ciência Animal da América Latina, conceito 7, na renomada UNESP câmpus de Jaboticabal, interior de São Paulo.

Agradeço à minha família que me apoiou incondicionalmente, me dando suporte e torcendo pela minha evolução mesmo estando distantes fisicamente. Aos meus pais, em especial, que me incentivam a buscar ser uma pessoa melhor sempre.

À CAPES pela concessão de bolsas para que eu tivesse condições de desenvolver minha pesquisa.

À FAPESP, processo: 2020/13695-0, pela aprovação do Projeto PIPE ao qual me proporcionou desenvolver meu projeto de pesquisa do curso de mestrado.

À FCAV Unesp Jaboticabal pela estrutura que possibilitou a realização da pesquisa de minha dissertação, aos colaboradores que conheci durante esses anos em que estive nessa faculdade desde o estágio, Beterraba, Marrom, Biro, Turquinho (*in memorian*), Juninho Ferrari, Carlinhos, Seu Tião, Uandersson.

Ao Laboratório de Bioclimatologia, pelo suporte científico agregado e que possibilitaram realizar essa etapa importante da minha carreira intelectual e profissional. Agradeço à todos que eu tive oportunidade de crescer como ser humano além do conhecimento científico, Angela Arduíno, Alex Maia, Patric Castro, Vinícius Fonsêca, Cíntia Carol, Gustavo Moura, aos alunos que fizeram parte do cotidiano.

Agradeço também ao Alan Maia pelo suporte e desenvolvimento da ponteira de proteção utilizada na pesquisa, por ter me dado suporte em diversos momentos durante as coletas de dados.

Ao Wellisson Roberto da empresa DevelopNow à qual desenvolveu o dispositivo e esteve presente no desenvolvimento do mesmo, se mostrando interessado em entender a fase experimental, às visitas prestadas durante as coletas de dados.

Agradeço aos amigos que fiz nesta faculdade, em especial Sérgio Fidelis, Ingrid Lima e Érika Brelaz, que me suportaram mais de perto, que me ajudaram e criamos uma amizade a qual quero levar por muitos bons anos. Aos demais amigos do laboratório e da FCAV que tenho um carinho enorme e que também fizeram parte da minha vida durante esses anos em Jabuka Caio, Gabriela, João, Paloma, Juliete, Shisley, Maria Victória, Ana Victória.

Agradeço também às amigadas que fiz durante o tempo que morei na República Rep Hour, à todas as meninas que foram um suporte enorme na minha chegada aqui na cidade de Jaboticabal, principalmente no ano de pandemia de Covid-19.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## SUMÁRIO

MONITORAMENTO INTELIGENTE DO CONFORTO TÉRMICO EM CURRAIS DE CONFINAMENTO DE BOVINOS UTILIZANDO O IN_COMFORT_SENSOR .....	III
SMART MONITORING OF THERMAL COMFORT IN FEEDLOT CATTLE USING THE IN_COMFORT_SENSOR .....	V
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	7
2.1 MUDANÇAS NO PADRÃO RESPIRATÓRIO COMO INDICADOR DO BEM-ESTAR ANIMAL .....	7
2.2 MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO REMOTA DA FREQUÊNCIA RESPIRATÓRIA DO ANIMAL.....	13
3. OBJETIVO GERAL.....	18
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	18
4.1 LOCAL, ANIMAIS E INSTALAÇÕES.....	19
4.2 LAYOUT E COMPONENTES DO <i>IN_COMFORT_SENSOR</i> .....	20
4.3 COLETAS DE DADOS .....	25
5. ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	28
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
6.1 FREQUÊNCIA RESPIRATÓRIA MEDIDA COM <i>IN_COMFORT_SENSOR</i> .....	30
6.1.1 BOVINOS F1 ANGUS X NELORE .....	30
6.1.2 BOVINOS HOLANDÊS.....	32
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	40
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

## Certificado da Comissão de Ética no Uso de Animais



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Câmpus de Jaboticabal



### CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

#### CERTIFICADO

Certificamos que o projeto de pesquisa intitulado "Dispositivo eletrônico MaiaFR "Smart Animal Comfort" para avaliação do conforto térmico e bem-estar animal", protocolo nº 2905/21, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Alex Sandro Campos Maia, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP, em reunião ordinária de 16 de fevereiro de 2022.

Vigência do Projeto	22/11/2021 a 22/07/2022
Espécie / Linhagem	Bovinos ( <i>Bos taurus</i> ), ovinos ( <i>Ovis aries</i> )
Nº de animais	Bovinos (20), Ovinos (20)
Peso / Idade	Bovinos: 500kg / 17 meses; Ovinos SI x DO 18; 60/70 dias; Corriedale 5 anos
Sexo	Machos e fêmeas
Origem	Laboratório de Bioclimatologia – FCAV/UNESP Jaboticabal

Jaboticabal, 20 de fevereiro de 2022.

  
Profª Drª Fabiana Pilarski  
Coordenadora – CEUA

## MONITORAMENTO DO CONFORTO TÉRMICO EM CURRAIS DE CONFINAMENTO DE BOVINOS UTILIZANDO O IN\_COMFORT\_SENSOR

**Resumo:** A frequência respiratória ( $F_R$ ) é um indicador confiável de como os animais estão lidando com as condições meteorológicas ao qual estão expostos. Embora sua medida possa ser facilmente obtida por meio da observação visual, avaliações contínuas em um número elevado de animais requerem utilização de ferramentas de sensoriamento remoto. Nesse estudo foram propostos avanços no dispositivo eletrônico, o “FRMaia” (Milan et. al., 2016), agora chamado de *In\_Comfort\_Sensor*, o qual possibilita o monitoramento remoto e em tempo real da frequência respiratória dos animais. O dispositivo atual tem dimensões de 3,5 x 6 x 2 cm (comprimento x largura x altura) e massa de 0,054 kg, montado em um cabresto. Quando comparado com o FRMaia, os avanços do *In\_Comfort\_Sensor* incluem tamanho mais compacto, transmissão de dados em tempo real por wireless e maior capacidade de armazenamento. O dispositivo o *In\_Comfort\_Sensor* foi fixado em nove bovinos machos (Angus x Nelore) com massa corporal média de 595,83 kg (DP = 10,86) e oito vacas Holandês não lactantes com massa corporal média de 500 kg (DP = 9,11). Esses animais foram mantidos nas instalações do Laboratório de Biometeorologia Animal (21°S) e sua frequência respiratória obtida durante oito dias consecutivos no mês de fevereiro de 2022, utilizando uma taxa de amostragem de 1200 medidas por minuto. Paralelamente, de janeiro a dezembro de 2022, as variáveis meteorológicas locais foram obtidas a cada minuto por meio de uma estação meteorológica portátil. De acordo com um índice ambiental, o *In\_Comfort\_Index*, os dias do ano de 2022 foram classificados como chuvosos, amenos, quentes ou muito quentes. Por exemplo, os dias de avaliação da frequência respiratória dos animais no presente estudo foram classificados como muito quentes. Nesses dias, a  $F_R$  de bovinos mestiços mantidos em currais com disponibilidade de sombreamento artificial oscilou de 28 a 65 respirações  $\text{min}^{-1}$ , e de 25 a 90 respirações  $\text{min}^{-1}$ , para aqueles mantidos em currais sem disponibilidade de sombra. Bovinos Holandês, os quais foram mantidos apenas em áreas sem disponibilidade de sombreamento artificial, a  $F_R$  oscilou de 25 a 80 respirações  $\text{min}^{-1}$ . Limiares de estresse térmico foram então determinados para bovinos mestiços e Holandês, ajustando-se um modelo de regressão segmentada para  $F_R$  como função dos dias de avaliação, hora do dia e carga térmica, os quais: ausência de estresse térmico ( $F_R < 60$  respirações  $\text{min}^{-1}$ ), estresse térmico moderado ( $60$  respirações  $\text{min}^{-1} < F_R \leq 70$  respirações  $\text{min}^{-1}$ ) e estresse térmico ( $F_R > 70$  respirações  $\text{min}^{-1}$ ). Em média, esses animais em currais com ou sem sombra foram expostos diariamente a seis horas de estresse térmico por calor (i.e., em condições de estresse térmico moderado ou estresse térmico). De acordo com o índice ambiental *In\_Comfort\_Index*, no ano de 2022, um total de 100 dias foram classificados como muito quentes. Para esse cenário, bovinos mestiços ( $F_1$ , Angus x Nelore) e vacas Holandês secas mantidas em áreas com ausência de sombreamento artificial foram expostos a 300 horas de estresse térmico moderado e 600 horas de estresse térmico. No entanto, mesmo no curral com disponibilidade de sombreamento artificial, ainda assim bovinos mestiços foram expostos a 900 horas de estresse térmico moderado. Esse resultado evidencia necessidade de estratégias adicionais ao sombreamento artificial para mitigação efetiva do estresse térmico por calor, como emprego de sistemas de resfriamento evaporativo. Esse sistema de resfriamento evaporativo poderá ser interligado aos registros de frequência respiratória dos animais,

monitorados em tempo real pelo *In\_Comfort\_Sensor*. Em outras palavras, o animal atuará como biosensor determinando quando o sistema será acionado e/ou desligado. Em conclusão, o *In\_Comfort\_Sensor* permite monitoramento inteligente da frequência respiratória de bovinos, facilitando a detecção precoce de animais expostos a condições ambientais de estresse térmico.

Palavras-chave: bem-estar, bovinos, conforto térmico, estresse térmico, frequência respiratória, *In\_Comfort\_Sensor*.

## MONITORING THERMAL COMFORT IN CATTLE CONFINEMENT USING THE IN\_COMFORT\_SENSOR

**Abstract:** The Respiratory rate (RR) is a reliable indicator of how animals are coping with local weather conditions. In cattle, although its measurement can be easily obtained through visual observation, continuous assessments in a large number of animals require the use of remote sensing tools. In this study, advances were proposed in the electronic device, the “FRMaia” (Milan et. al., 2016), now called In\_Comfort\_Sensor, which allows remote and real-time monitoring of the animals' respiratory rate. The current device has dimensions of 3.5 x 6 x 2 cm (length x width x height) and a mass of 0.054 kg, mounted on a halter. When compared to FRMaia, In\_Comfort\_Sensor's advancements include more compact size, real-time wireless data transmission and greater storage capacity. . In this study, the In\_Comfort\_Sensor was attached to nine male cattle (Angus x Nelore) with an average body mass of 595.83 kg (SD = 10.86) and eight non-lactating Holstein cows with an average body mass of 500 kg (SD = 9. 11). These animals were kept in the facilities of the Animal Biometeorology Laboratory (21°S) and their respiratory rate was obtained for eight consecutive days in February 2022, using a sampling rate of 1200 measurements per minute. At the same time, from January to December 2022, local meteorological variables were obtained every minute using a portable meteorological station. According to an environmental index, In\_Comfort\_Index, the days of 2022 were classified as rainy, mild, hot or very hot. For example, the days on which the animals' respiratory rate were assessed in the present study were classified as very hot. On these days, the RR of crossbred cattle kept in pens with artificial shade available ranged from 28 to 65 breaths min<sup>-1</sup>, and from 25 to 90 breaths min<sup>-1</sup>, for those kept in pens without shade available. For Holstein cattle, which were kept only in areas without the availability of artificial shade, the RR ranged from 25 to 80 breaths min<sup>-1</sup>. Heat stress thresholds were then determined for crossbred and Holstein cattle, fitting a segmented regression model for RR as a function of evaluation days, time of day and heat load, which: absence of heat stress (RR < 60 breaths min<sup>-1</sup>), moderate thermal stress (60 breaths min<sup>-1</sup> < RR <= 70 breaths min<sup>-1</sup>) and thermal stress (RR > 70 breaths min<sup>-1</sup>). Crossbred and Holstein cattle kept in pens with or without shade were exposed daily to six hours of heat stress (i.e., under conditions of moderate heat stress or thermal stress). In the year 2022, a total of 100 days were classified as very hot. Under these circumstances, crossbred cattle (F1, Angus x Nelore) and dry Holstein cows kept in areas with no artificial shading were exposed to 300 hours of moderate heat stress and 600 hours of heat stress. Even in the corral with artificial shading available, crossbred cattle were still exposed to 900 hours of moderate heat stress. This result highlights the need for additional strategies to artificial shading to effectively mitigate heat stress, such as the use of evaporative cooling systems. This evaporative cooling system can be linked to the animals' respiratory rate records, monitored in real time by In\_Comfort\_Sensor. In other words, the animal will act as a biosensor, determining when the system will be activated and/or turned off. In conclusion, the In\_Comfort\_Sensor allows intelligent monitoring of the respiratory rate of cattle, facilitating early detection of animals exposed to environmental heat stress conditions.

**Keywords:** welfare, cattle, thermal comfort, thermal stress, respiratory rate, In\_Comfort\_Sensor.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O Brasil possui um dos maiores rebanhos comerciais de bovinos do mundo, com cerca de 234,4 milhões de animais (IBGE, 2023), dados que certamente o torna um grande fornecedor de proteína animal para a população mundial. A maioria desses animais, no entanto, são frequentemente expostos a níveis de irradiância solar que podem exceder  $1000 \text{ W m}^{-2}$  e temperatura do ar acima de  $35^\circ\text{C}$ . Essa quantidade de radiação pode resultar em ganho de calor por radiação de ondas curtas acima de  $400 \text{ Wm}^{-2}$  (Silva e Maia, 2013; Maia et al, 2015; DaSilva et al., 2015), enquanto uma temperatura do ar de  $35^\circ\text{C}$  torna mecanismos de perdas de calor sensível potenciais vias de ganho de calor (Maia et al., 2005). Além disso, com os avanços das mudanças climáticas, é muito provável que esses animais sejam cada vez mais expostos a extremos ambientais como ondas de calor, aonde níveis de temperatura do ar podem ultrapassar os  $40^\circ\text{C}$  (Instituto Nacional de Meteorologia, INMET, 2023) (Figura 1).

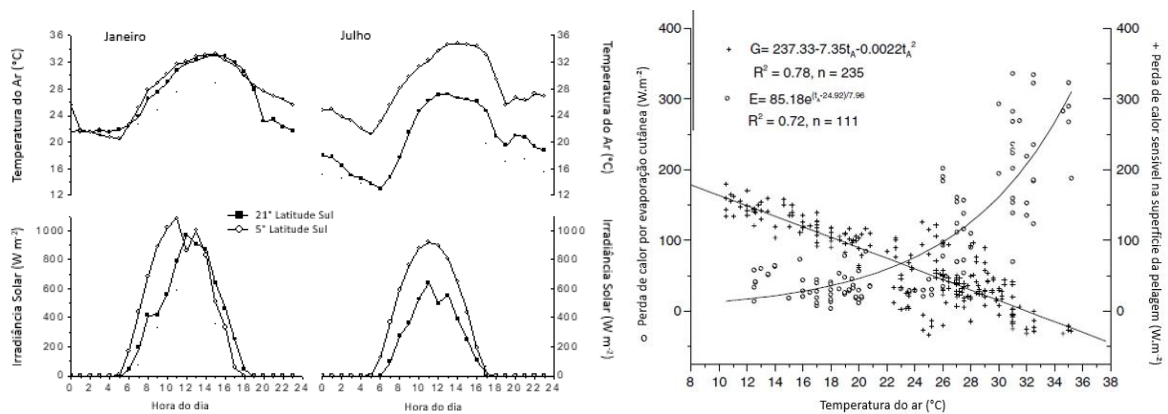


Figura. 1. Variação diária da irradiância solar ( $\text{W m}^{-2}$ ) e a temperatura do ar ( $^\circ\text{C}$ ), de acordo com o mês e a localização (latitude sul  $5^\circ$  e  $21^\circ$ ; longitude  $38^\circ$  e  $48^\circ$ , respectivamente). Perda de calor por evaporação cutânea ( $\text{Wm}^{-2}$ ) (simb. o) e perda de calor sensível (convecção + radiação,  $\text{Wm}^{-2}$ ) (simb. +) na superfície corporal de vacas Holandês em função da temperatura do ar. Fonte: INMET 2023, Maia et al., 2005a, Maia et al., 2015, Maia et al., 2020.

O impacto do estresse térmico por calor sobre a bioenergética dos animais domésticos, especialmente bovinos, é um tema amplamente discutido na literatura (Hanh et al., 1997; Gaughan 2000; Silva 2000; Beatty et al. 2006; Dantas et al. 2012). O estresse térmico por calor é responsável por perdas econômicas significativas para produção animal no mundo, por exemplo, nos Estados Unidos, estima-se perdas ao redor de U\$1,69 a 2,36 bilhões anuais na cadeia de produção de bovinos de leite (Polsky e von Keyserlingk, 2017).

Recentemente, no ano de 2022, aproximadamente 12000 bovinos mantidos em sistemas de confinamento morreram devido a uma onda de calor no estado do Kansas, aonde a temperatura do ar atingiu níveis acima de 45°C (Scot Consultoria 2022). Sob tais circunstâncias, como os animais não tinham acesso a nenhum tipo de sombreamento, possuíam pelagem escura e estavam em fase de terminação, altas taxas de estoque de energia térmica nos tecidos e, portanto, morte por hipertemia eram consequências quase que inevitáveis (Burhans et al.,2022). Em casos menos extremos, perdas econômicas devido ao estresse térmico incluem também aquelas oriundas da queda nos índices reprodutivos, redução voluntária no consumo de alimentos, queda na eficiência alimentar, produção de leite e carne, além da imunossupressão (West, 2003).

Identificar tão cedo quanto possível quando os animais estão expostos a situações de estresse térmico por calor é portanto essencial para manutenção de bons níveis de conforto térmico e bem-estar animal e, conseqüentemente, evitar perdas econômicas nos sistemas de produção animal. Nas últimas décadas, tentativas foram feitas por meio do desenvolvimento de vários índices ambientais ou comumente referidos "*Índices de estresse térmico*" como ferramenta para predizer quando os animais são expostos a situações de estresse térmico por calor (DaSilva e Maia, 2013; DaSilva et. al., 2015; Maia et al., 2003). Em síntese, a maioria desses índices traz a combinação e síntese de variáveis meteorológicas como temperatura do ar, umidade, deslocamento e radiação numa única variável, a qual pode ser correlacionada com respostas autonômicas e voluntárias relacionadas a termorregulação dos animais como consumo voluntário de alimentos, ingestão de água, ofego, comportamento de

uso de sombra, além de respostas produtivas como produção de leite e ganho de peso (Gaughan et al., 2008; DaSilva et al., 2015; Oliveira et al., 2018).

No entanto, sua utilização como ferramenta de gestão do ambiente térmico em instalações zootécnicas é limitada, uma vez que é restrito a população de animais e condições ambientais que fora desenvolvido (DeShazer, 2009; DaSilva e Maia, 2013).

Com os avanços das ferramentas de Zootecnia de Precisão, especialmente no desenvolvimento de sensores, protocolos de transmissão, armazenamento, mineração e análises de dados, tem sido possível monitoramento individual e em tempo real dos animais por meio da obtenção de biomarcadores confiáveis da condição ou estado de bem-estar animal (Norton e Berckmans, 2023). Por exemplo, a variação da temperatura média dos tecidos, muitas vezes medida por meio da temperatura retal, temperatura timpânica, temperatura vaginal no caso de fêmeas, temperatura do rúmen, pode indicar se os animais foram ou não expostos a situações de estresse térmico por calor ou frio (Collier and Gebremedhin, 2015).

De acordo com a primeira lei de conservação de energia, a variação da temperatura média dos tecidos é produto do balanço de calor animal, além do calor específico dos tecidos e massa corporal dos animais. Em outras palavras, para que a temperatura de 1 kg de tecido corporal aumente em 1 °C, é necessário que seja absorvido 3200 J de calor. Portanto, para animais de massa corporal grande, é necessário que muito calor seja absorvido para que haja aumento na temperatura média dos tecidos, ou seja, existe um tempo de resposta muito longo entre carga térmica que os animais estão expostos e aumento de temperatura corporal. Esse longo tempo de resposta pode resultar na identificação tardia de animais expostos a situações de estresse térmico por calor (DaSilva e Maia, 2013).

Sob determinadas circunstância ambientais, mais especificamente quando a temperatura operativa ou radiante é superior a temperatura de superfície corporal dos animais, a manutenção do equilíbrio térmico só é possível pelo recrutamento/acionamento de respostas autonômicas como ofego e sudação, as quais resultam no aumento da transferência de vapor de água e calor dos animais para o ambiente através da superfície cutânea e respiratória (Fonsêca et al., 2019).

No ofego, bovinos e outros animais homeotérmicos e endotérmicos aumentam a passagem de ar pelo sistema respiratório superior, resultando em evaporação de água na mucosa e transferência de calor e vapor de água para o ambiente (Maia et al., 2005). Para isso, há aumento na taxa de ventilação pulmonar, a qual é produto da frequência respiratória pelo volume respiratório corrente. Durante o ofego, os animais então aumentam sua frequência respiratória e diminuem o volume respiratório corrente (Figura 2). Tais ajustes acontecem para evitar que os animais estoquem calor corporal e, portanto, ocorrem normalmente em estágios iniciais da exposição dos animais a situações de estresse térmico por calor (Gaughan, 2000).

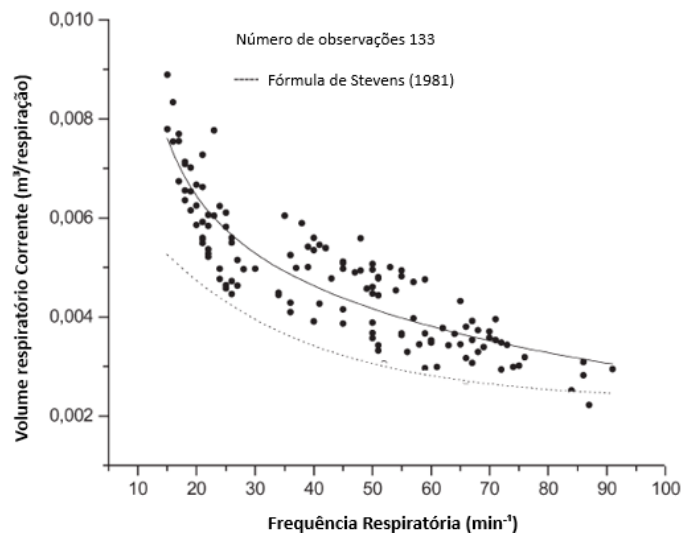


Figura. 2. Representação do padrão respiratório durante o ofego em vacas Holandês. Adaptado de Maia et. al., 2005b.

A frequência respiratória é portanto um indicador confiável do estado do animal em relação as suas tentativas de lidar com as condições meteorológicas locais (Gaughan et al. 2000; Silanikove 2000; Collie e Gebremedhin, 2015). Além disso, ela também pode ser um indicador seguro do estado de saúde do animal. Por exemplo, a detecção de animais com frequência respiratória alterada pode ser indicativo de síndromes respiratórias aguda, um problema que acomete muitos bovinos, especialmente aqueles mantidos em sistemas de confinamento (Urso et al. 2021).

Embora a frequência respiratória possa ser obtida por meio da observação ocasional e visual dos movimentos respiratórios no flanco do animal, seu

monitoramento contínuo requer tecnologias de sensoriamento remoto (Eigenberg et al., 2000 e 2008). Até onde sabemos, Eigenberg et al. 2000 foram os primeiros a desenvolver um dispositivo para obtenção remota da frequência respiratória. Em síntese, eles utilizaram uma cinta que carregava um transdutor de força mecânica para detecção de alteração na pressão torácica durante os movimentos de inalação e exalação, derivando assim dados da frequência respiratória (Figura 3.A). O dispositivo possuía um sistema de aquisição e armazenamento de dados (i.e., data-logger).

Mais recentemente, Milan et al. (2016) também propuseram um dispositivo para medida remota da frequência respiratória, batizado de “FRMaia” (Figura 3.B). Os autores utilizaram um sensor acoplado a um cabresto para medir a temperatura do ar inalado e exalado. Esse princípio também se baseia na primeira lei de conservação de energia. O ar inalado recebe calor e vapor de água ao passar pela mucosa do sistema respiratório superior, sendo exalado a uma temperatura maior que a do ambiente e completamente saturado àquela temperatura (DaSilva et al., 2002). A diferença da temperatura do ar inalado e exalado resulta então num padrão cíclico de medida, assim como o padrão da frequência respiratória. Baseado nesse padrão de resposta, Milan et al. (2016) desenvolveram um algoritmo para obter os dados de frequência respiratória com o dispositivo FRMaia.

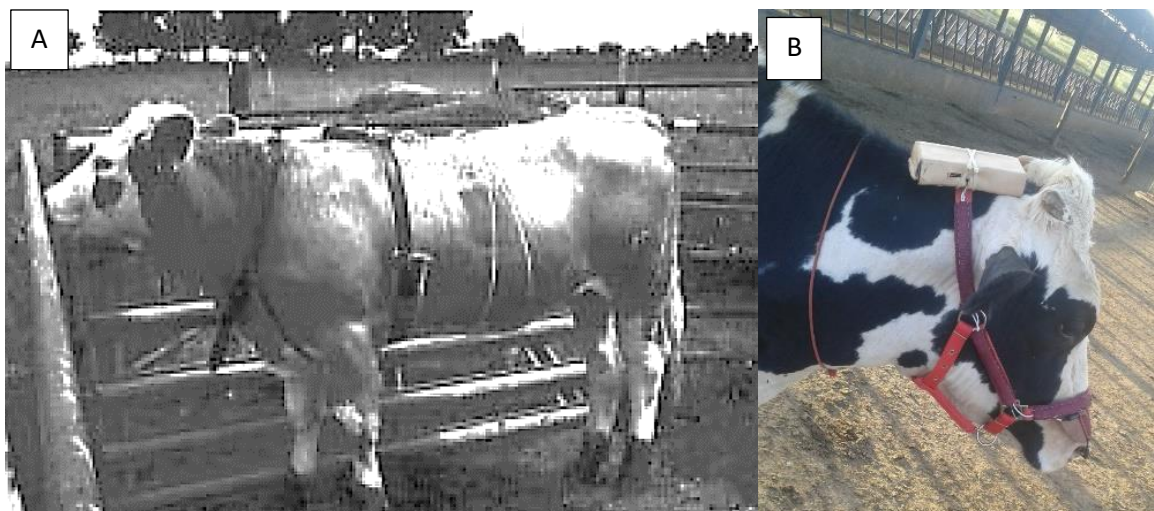


Figura 3. A. Dispositivo desenvolvido por Eigenberg et al., 2000. B. Primeira versão do dispositivo FRMaia desenvolvido por Milan et al., 2016. Adaptado de Eigenberg et al., 2000. Fonte: Cortesia do Prof. Alex Sandro Campos Maia.

Nos últimos anos outros métodos também foram desenvolvidos utilizando diferentes princípios para obtenção remota da frequência respiratória (e.g., Strutzke et al., 2019; Barreto et al., 2022). Por exemplo, Strutzke et al. 2019 criticaram o princípio do FRMaia, destacando que sob certas condições ambientais a temperatura do ar inalado será igual ao exalado, sendo então perdida oscilação de temperatura, sinal necessário para obtenção da frequência respiratória. Esses autores propuseram então um princípio baseado nas mudanças de pressão na cavidade nasal durante inalação e exalação como melhor caminho para obtenção remota da frequência respiratória. Segundo os autores, por meio desse método, é possível identificar não apenas a frequência respiratória, mas também mudanças no volume respiratório corrente, em outras palavras, quando os animais passam de um estado de ofego (i.e., respiração mais superficial) para um quadro de hiperventilação térmica (i.e., respiração mais profunda) (Eigenberg 2000; Maia et al. 2016, Strutzke et al., 2019).

No entanto, além de ser um método mais invasivo, um vez que é inserido um tubo com tensiômetro no interior da narina do animal (Figura 4), a validação das medidas de frequência respiratória foi feita sob condições de temperatura do ar oscilando de 0 a 4°C, ou seja, diante de circunstâncias que não representaram desafio de estresse térmico por calor para os animais (Strutzke et al., 2018). É tanto que a frequência respiratória das vacas avaliadas não ultrapassou as 50 respirações min<sup>-1</sup>.

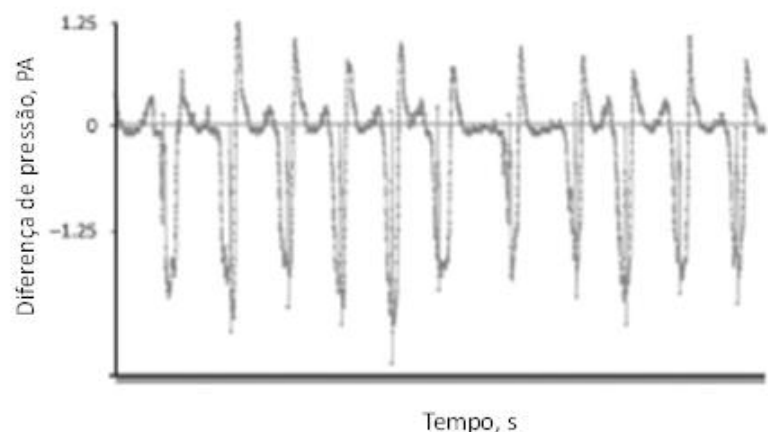


Figura. 4. Dispositivo desenvolvido por Strutzke et al. 2019.

O dispositivo FRMaia também foi validado sob condições ambientais aonde a variação da frequência respiratória de bovinos Nelore foi muito pequena (i.e., 20 a 35 resp min<sup>-1</sup>) (Milan et al., 2016), não sendo possível validar sua performance sob circunstâncias de maior desafio ambiental, ou seja, quando as necessidades de ofego e, portanto, aumento da frequência respiratória são maiores para os animais. Outro ponto limitante do FRMaia era sua baixa capacidade de armazenamento de dados, além da impossibilidade de transmissão das informações em tempo real. Dessa forma, nessa tese de mestrado, são apresentados avanços no dispositivo FRMaia, agora batizado de *In\_Comfort\_Sensor*, como redução de seu tamanho e melhorias quanto a sua capacidade de armazenamento e transmissão de informações em tempo real por wireless.

Dados da frequência respiratória de bovinos expostos a uma variedade de condições meteorológicas, sumarizadas numa única variável ambiental por meio do *In\_Comfort Index* (Maia et al., 2023), foram obtidos com o *In\_Comfort\_Sensor*. Com base nos dados da frequência respiratória obtidas com o *In\_Comfort\_Sensor*, propusemos faixas de estresse térmico e quantificamos o número provável de horas que bovinos foram expostos ao estresse térmico por calor no ano de 2022. Nessa tese, apresentamos também uma revisão do estado da arte à literatura acerca da medida da frequência respiratória como biomarcador do bem-estar animal e uma descrição mais detalhada sobre os diferentes métodos e princípios utilizados para obtenção remota da frequência respiratória em bovinos.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Mudanças no padrão respiratório como indicador do Bem-Estar Animal**

Donald Broom definiu Bem-Estar como sendo “*estado do animal em relação as suas tentativas de lidar ou se adaptar ao seu ambiente*” (Broom, 1986). O bem-estar pode ser medido cientificamente, independente de questões morais. Mais recentemente, a aplicação do conceito dos cinco domínios proposto pelo Professor David Mellor (Donald M. Broom, 2011; Fraser et. Al. 1997; Duncan 2019 e Mellor et al. 2020) demonstra como o bem-estar animal pode ser avaliado/medido com base

nos cinco domínios, sendo eles: Nutrição, Ambiente, Saúde, expressão de comportamento natural e estados mentais (i.e., emoções positivas e negativas).

A obtenção de respostas autonômicas e voluntárias dos animais podem assim indicar o grau de dificuldade para os animais lidarem com seu ambiente, dentro de cada um desses domínios. Por exemplo, alterações no padrão respiratório dos animais como aumento da frequência respiratória podem indicar certo grau de dificuldade para lidar com estressores ambientais como patógenos ou carga térmica elevada (Mellor & Reid 1994; Gaughan 2008).

Um dos problemas de bem-estar animal nos sistemas de produção de bovinos de corte em confinamento são as síndromes respiratórias, causadas principalmente pela exposição dos animais a materiais particulados em suspensão (i.e., poeira) ou extremos ambientais. Um estudo conduzido em mais de 30 confinamentos nos Estados Unidos entre os anos de 2017 e 2019, revelou que as doenças respiratórias bovinas foram responsáveis por 70% das mortes de animais, um prejuízo que chegou a representar quase 1 bilhão de dólares anuais (Urso et al., 2021). Esse tipo de problema também uma das maiores causas de morte em ruminantes neonatos, especialmente durante as estações mais frias do ano. Em síntese, as síndromes respiratórias alteram a resistência do trato respiratório superior a passagem de ar, assim como também difusão gasosa através dos alvéolos. A pneumonia intersticial aguda tem como consequência aumento na produção de secreção e inflamação dos bronquíolos, ambos os sintomas afetam diretamente a difusão gasosa através dos alvéolos (Peek et al. 2019).

Na maioria dos casos, esses problemas são detectados em estágios mais avançados da doença, muitas vezes irreversíveis. Entretanto, a observação de mudanças no padrão respiratório dos animais pode trazer informações úteis sobre estágios iniciais de síndromes respiratórias, por exemplo, um aumento da frequência respiratória (Peek et al., 2019). Na figura 5 é possível observar duas vacas diagnosticadas com problemas de obstrução das vias aéreas superiores, ambas apresentando um padrão característico de ofego, ou seja, uma resposta autonômica estimulada em situações de estresse térmico por calor. Na foto, além de estarem com a frequência respiratória elevada, o posicionamento de boca aberta e pescoço

estendido, em conjunto, contribuem para diminuir a resistência a passagem de ar pelo sistema respiratório (Peek et al., 2019). Assim, alterações da frequência respiratória pode ser indicativo de ocorrência de alguma síndrome respiratória aguda no rebanho.

A frequência respiratória é também conhecidamente um indicador útil de como os animais estão enfrentando seu ambiente térmico (Gaughan et al., 2000). Ela varia conforme tamanho corporal, estágio fisiológico, patológico e condições meteorológicas. Primariamente, o padrão da frequência respiratória e volume respiratório corrente nos animais é regulado e definido pelas necessidades do organismo manter balanço adequado do  $\text{CO}_2$ , produto do metabolismo aeróbico animal, e manutenção de uma taxa adequada de entrega de  $\text{O}_2$  aos tecidos. Animais de mesmo tamanho corporal, em estágios de crescimento e/ou lactação têm frequência respiratória de repouso mais alta que aqueles que não estejam (Frappel et al., 2000). Algumas espécies de animais, particularmente homeotérmicos e endotermos como os bovinos, têm no seu sistema respiratório superior uma via importante para auxiliá-los no controle de temperatura corporal por meio da evaporação de umidade e transferência de calor para o ambiente (DaSilva et al., 2002; Fonsêca et al., 2017).



Figura. 5. A. Respiração de boca aberta e extensão do pescoço em adulto Holandês com abscesso retrofaríngeo e obstrução de vias aéreas superiores. B. Vaca Holandês adulta com respiração ofegante, associada a laceração faríngea. Fonte: Adaptação Peek et Al. 2018.

Sob condições de carga térmica elevada, bovinos podem transferir para o ambiente cerca de 20% de sua taxa metabólica por meio da evaporação pelo sistema respiratório (Maia et al., 2005b). Resumidamente, os mecanismos físicos envolvidos na transferência de calor pelo sistema respiratório e o papel do padrão respiratório enquanto modulador desses mecanismos.

O trato respiratório superior de mamíferos e aves desempenham importantes mecanismos de defesa para proteção do ambiente alveolar, o qual, além do filtro contra patógenos e partículas físicas, é também responsável pelo “acondicionamento” do ar durante o processo inalatório e conservação de vapor de H<sub>2</sub>O quando o ar é expirado. Durante esse processo, estão envolvidos mecanismos físicos de transferência de massa e calor. Conforme o ar é inspirado, sua temperatura aproxima-se da superfície do trato respiratório superior e, ao mesmo tempo, começa a saturar-se com vapor de água (DaSilva et al., 2002). Quando chega aos pulmões, encontra-se completamente saturado a esta temperatura. Durante esse processo, a superfície do trato respiratório é resfriada por meio da evaporação e convecção, onde o grau desse resfriamento depende, principalmente, da temperatura e conteúdo de umidade do ar inspirado. (Figura 6)

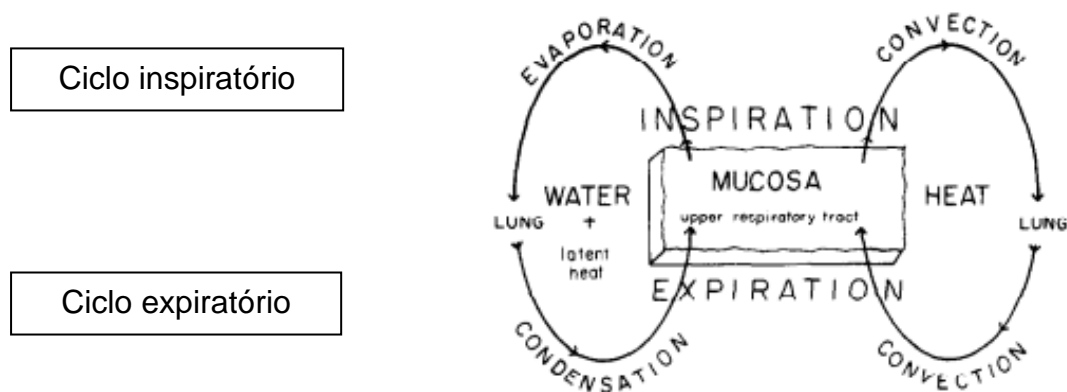


Figura 6: Mecanismos de transferência de calor e massa durante a passagem do ar na superfície respiratória. Adaptado de Fonsêca et al., 2022.

Durante o ciclo expiratório, o ar flui por meio das superfícies respiratórias, anteriormente resfriadas durante o ciclo inalatório, perdendo calor (convecção) e vapor de H<sub>2</sub>O (condensação). Assim, o ar é expirado numa temperatura menor que a

dos pulmões, e saturado àquela temperatura (Fig. 6). A transferência de calor via evaporação nas superfícies respiratórias pode então ser quantificada como:

$$q''_{ER} = \lambda [m\rho^{-1}(\psi_{EXP} - \psi_{ATM})] \quad [1]$$

Em que,  $m$  é a taxa de fluxo de massa ( $\text{kg s}^{-1}$ );  $\rho$  é a densidade do ar;  $\psi_{EXP}$  e  $\psi_{ATM}$  é a umidade absoluta ( $\text{g m}^{-3}$ ) do ar expirado e da atmosfera, respectivamente. A umidade absoluta da atmosfera e ar expirado pode ser encontrada:

<p style="text-align: center;">Conteúdo de vapor de H<sub>2</sub>O na atmosfera:</p> $\psi_{ATM} = \frac{2166,86 P_p \{T_a\}}{T_a(K)}$ $P_p\{T_a\} = P_s\{T_U\} - \gamma (T_a - T_U)$	<p style="text-align: center;">Conteúdo de vapor no ar expirado do sistema respiratório:</p> $\psi_{EXP} = \frac{2166,86 P_s \{T_{EXP}\}}{T_{EXP}(K)}$ $P_s\{T_{EXP}\} = 0,61078 \cdot 10^{\frac{7,5 T_{EXP}}{237,5 + T_{EXP}}}$
---	--

O ar é expirado saturado numa determinada temperatura ( $T_{EXP}$ ) e, por isso, nos referimos à pressão de saturação ( $P_s\{T_{EXP}\}$ ) do ar expirado ao invés de pressão parcial de vapor. A quantidade de ar (massa) deslocado através das superfícies respiratórias por unidade de tempo ( $V_E$ ;  $L s^{-1}$ ) pode obtida encontrando o produto da taxa respiratória ( $F_R$ ;  $Resp s^{-1}$ ) pelo volume respiratório corrente ( $V_{RC}$ ;  $L Resp^{-1}$ ). A frequência respiratória é então o número de ciclos inspiratórios e expiratórios por unidade de tempo, enquanto que o volume respiratório corrente é a quantidade de ar deslocado em cada um desses ciclos. Portanto, na equação [1], o fluxo de massa pode então ser substituído pelo produto do  $V_{RC}$  pela  $F_R$  do animal, tendo assim o fluxo de calor transferido para o ambiente, em  $W m^{-2}$ , conforme a equação abaixo:

$$q''_{ER} = \frac{\lambda [V_{RC} \cdot F_R (\psi_{EXP} - \psi_{ATM})]}{A} \rightarrow \frac{\frac{J}{g} \cdot \frac{m^3}{Resp} \cdot \frac{Resp}{s} \cdot \frac{g}{m^3}}{m^2} \rightarrow J s^{-1} m^{-2} \rightarrow W m^{-2} \quad [2]$$

Na equação 2 é fácil perceber que um aumento na frequência respiratória resulta também, até certos limites, no aumento das taxas de transferência de calor e massa para o ambiente. Seguramente, um dos mecanismos de termorregulação mais primitivos durante a evolução de animais homeotérmicos e endotérmicos foi o ofego, tido como uma resposta autonômica (i.e., involuntária) estimulada por neurônios sensíveis ao aumento de temperatura. Como característica, durante o ofego, animais aumentam sua frequência respiratória e diminuem o volume respiratório corrente, aumentando assim a ventilação pulmonar apenas em nível de espaço morto, uma região anatômica aonde não ocorre difusão gasosa. Portanto, no ofego, não há perturbação dos processos de difusão de  $O_2$  e  $CO_2$  (Robertshaw, 2006).

Aumento na taxa respiratória de repouso pode ser então um indicador útil do grau de dificuldade dos animais em relação ao seu ambiente, seja em condições de aumento na carga térmica ou combate à alguma infecção do sistema respiratório. A frequência respiratória pode ser medida visualmente, no entanto, aspectos como distância, interferência da presença humana no comportamento natural dos animais, tornam esse caminho restrito a circunstâncias ocasionais de avaliação, envolvendo número reduzido de animais.

Outros métodos resultam na obtenção de informações mais refinadas do padrão respiratório dos animais, incluindo alterações na frequência respiratória. A espirometria é amplamente utilizada para mensuração dos parâmetros mecânicos do trato respiratório em humanos e animais. A técnica consiste no uso de dispositivos faciais que direcionam o ar expirado do trato respiratório para um transdutor de pressão, o qual converte a medida em sinais elétricos, sendo registrada a taxa de ventilação, taxa respiratória e volume respiratório corrente, entre outras medidas (Maia et al., 2015). O principal fator limitante é a necessidade de contenção e treinamento de animais para uso dos aparatos faciais, tornando a metodologia imprática para ser utilizada em condições de campo. Em condições comerciais, por exemplo, num ambiente de confinamento de bovinos, aonde um número grande de animais são mantidos numa mesma área, é necessário emprego de sensoriamento remoto para obtenção de medidas mais precisas da frequência respiratória dos animais, um tópico que vem sendo investigado nos últimos 20 anos.

## 2.2 Métodos para avaliação remota da frequência respiratória do animal

Eigenberg et. Al., 2000, objetivaram automatizar a contagem visual do movimento do flanco usando um sensor de pressão de filme fino preso por um cinto ao redor do abdômen. Houve uma estreita concordância entre as estimativas visuais e automatizadas da frequência respiratória. O dispositivo (Figura 7) segurado pelo cinto tinha limitações; ocasionalmente, o movimento do animal era registrado por respiração (Wijffels, Sullivan and Gaughan, 2020).

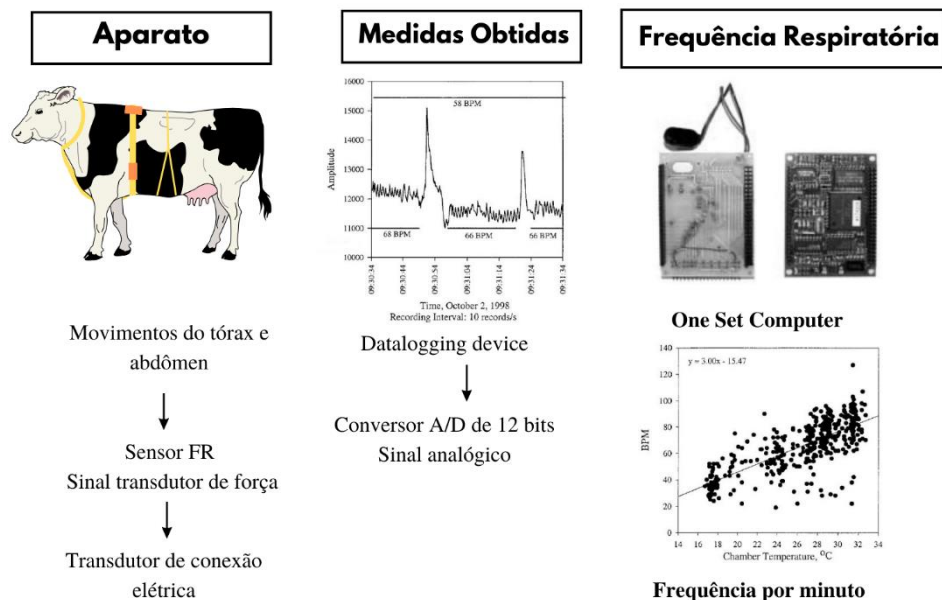


Figura. 7. Esquema ilustrativo do funcionamento do dispositivo desenvolvido e executado por Eigenberg et Al. 2000, mostrando como o sensor foi posicionado no animal, as medidas obtidas e a análise de dados até a obtenção da frequência respiratória.

Fonte: Adaptado de Eigenberg et Al. 2000 por Ingrid Lima.

Pastell et. Al., 2007, desenvolveram um sistema para medir a frequência respiratória sem contato do animal, de forma não contínua e não invasiva, especificamente para vacas leiteiras, podendo ser instalado nas salas de ordenha e tie-stall. O sistema (Figura 8) consiste em um sensor de leitura a laser colocado a uma altura em que seja possível medir a frequência respiratória durante a ordenha, de forma que o laser esteja apontando para a área abdominal lateral do animal. Os dados

são registrados em um dispositivo PDA com medidas de 250 Hz. A frequência é extraída a partir dos dados filtrados do sensor (método Welch 1967 usando 4096 pontos e sobreposição de 15%). Segundo os resultados apresentados ocorreram falhas de alta frequência causadas pelas lâmpadas fluorescentes da sala de ordenha. Indicando assim que o método a laser poderá ser melhor estudado para resultados mais confiáveis e precisos.

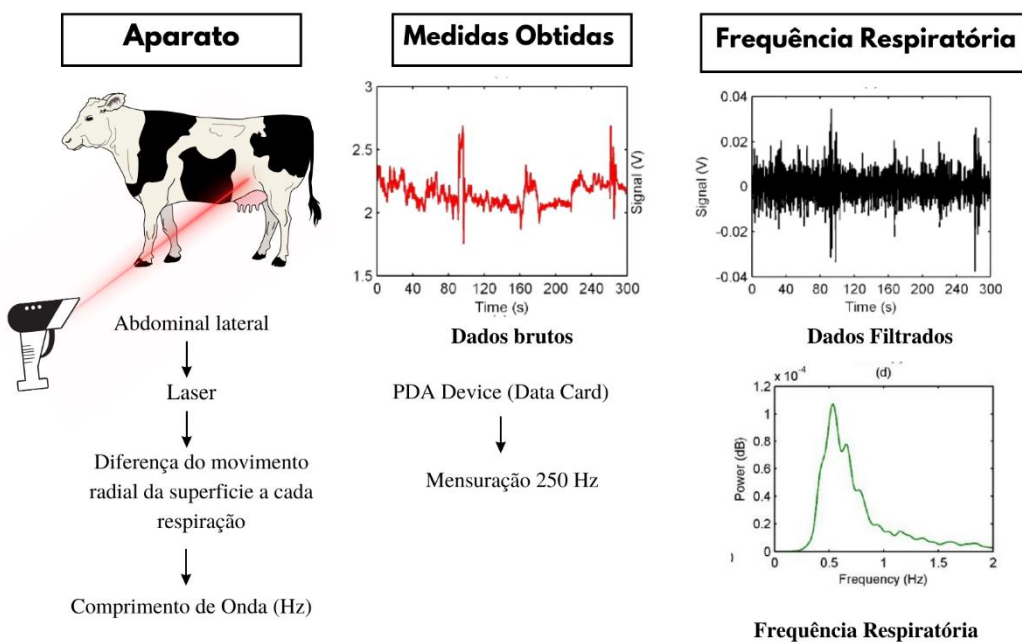


Figura. 8. Esquema ilustrativo do funcionamento do dispositivo desenvolvido e executado por Pastell et Al. 2007, mostrando como o sensor foi posicionado no animal, as medidas obtidas e a análise de dados até a obtenção da frequência respiratória.

Fonte: Adaptado de Pastell et Al. 2007 por Ingrid Lima.

Atkins e colaboradores, 2018, elaboraram método de medição contínua da frequência respiratória de vacas leiteiras através de um sensor de amostragem contínua modelado a partir do estudo de Eigenbeg et al. (2000). O acelerômetro de 3 eixos (Figura 9) foi fixado na região metatarsal (entre o perímetro cardíaco e o flanco) da vaca, usando um resistor sensível à pressão dos movimentos de inspiração e expiração, os dados eram registrados a cada 30 segundos através de medidas de aceleração do HOB0, baseados na metodologia de Chapinal et al. (2009).

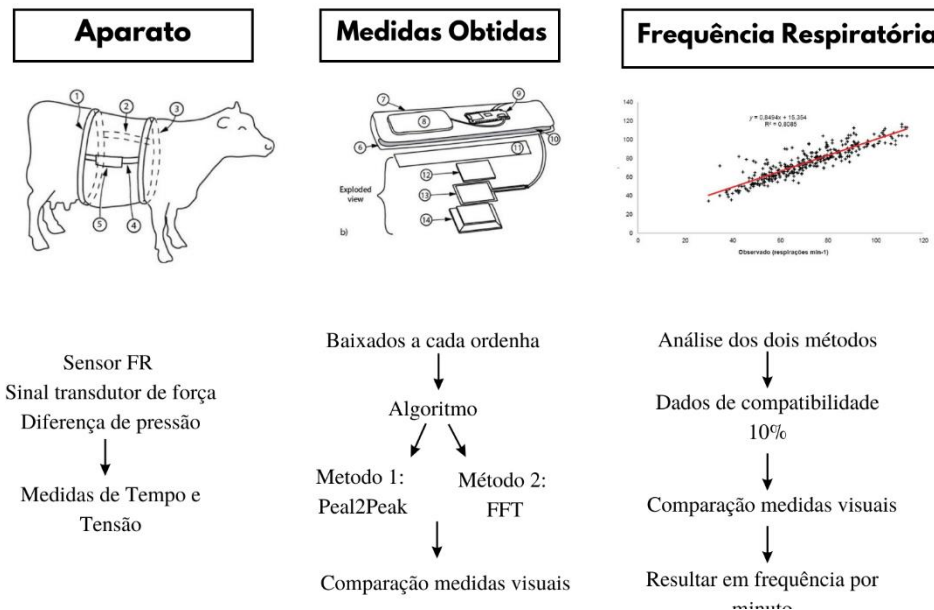


Figura. 9. Esquema ilustrativo do funcionamento do dispositivo desenvolvido e executado por Atikins et Al. 2018, mostrando como o sensor foi posicionado no animal, as medidas obtidas e a análise de dados até a obtenção da frequência respiratória.

Fonte: Adaptado de Atikins et Al. 2018 por Ingrid Lima.

Strutzke e colaboradores, 2019, investigaram a diferença de pressão entre a expiração (mais alta) e a inspiração (mais baixa) para detectar a respiração. Um tubo dentro da narina amostrava o ar expirado ou inspirado e a pressão era medida por um sensor fixado a um sistema de cabresto (Figura 10). Os dados foram transmitidos a um sensor para processamento e análise. As taxas de respiração conforme relatadas pelo sensor mostraram fortes correlações com a contagem visual (de um registro de vídeo) para várias posturas ( $r=0,92-0,99$ ). Enquanto a vida da bateria do dispositivo era limitada, o potencial para discriminar entre respiração superficial rápida (respiração ofegante) e respirações mais longas e profundas foi mostrado. O uso da tecnologia de acelerômetro utilizando o 10 movimento de levantamento para trás e para frente do corpo durante altas taxas de respiração ou respiração ofegante foi testado por Bar et al 2019.

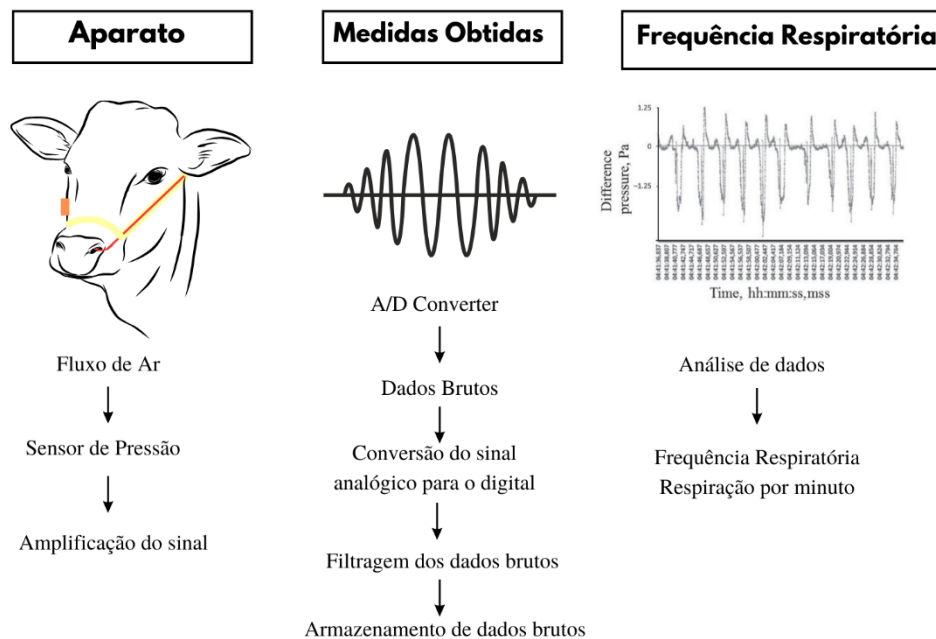


Figura. 10. Esquema ilustrativo do funcionamento do dispositivo desenvolvido e executado por Strutzke et Al. 2019, mostrando como o sensor foi posicionado no animal, as medidas obtidas e a análise de dados até a obtenção da frequência respiratória.

Fonte: Adaptado de Strutzke et Al. 2019 por Ingrid Lima.

Várias abordagens foram desenvolvidas para monitorar continuamente a frequência respiratória. Dentre eles incluem: uso de máscara respirométrica (Maia et al., 2014), uso de cintos ao redor do tórax de animais (DeShazer, 2009) e uso de implante cirúrgico (transmissor cardiopulmonar para animais de grande porte, [www.datasci.com](http://www.datasci.com), 2016).

Milan, Maia e Gebremedhin, 2016, desenvolveram dispositivo para medição da taxa de respiração bovina em condições de campo (Figura 11). Esse estudo objetivou validar o dispositivo, para isso foi estudado em bovinos Nelore a medida obtida através da oscilação da temperatura do ar exalado do animal, onde o sensor foi posicionado na narina do animal com auxílio de um cabresto fixado na cabeça do animal. As medidas de frequência obtidas foram comparadas às medidas visuais da frequência respiratória do animal, medidas através da contagem dos movimentos do flanco do animal, onde os resultados obtidos foram através de regressão linear formando uma linha identidade entre os dados. Os resultados obtidos não mostraram diferença

estatística entre os dois métodos, mostrando sua confiabilidade para resposta fisiológica da frequência respiratória dos animais à campo (Figura 12).

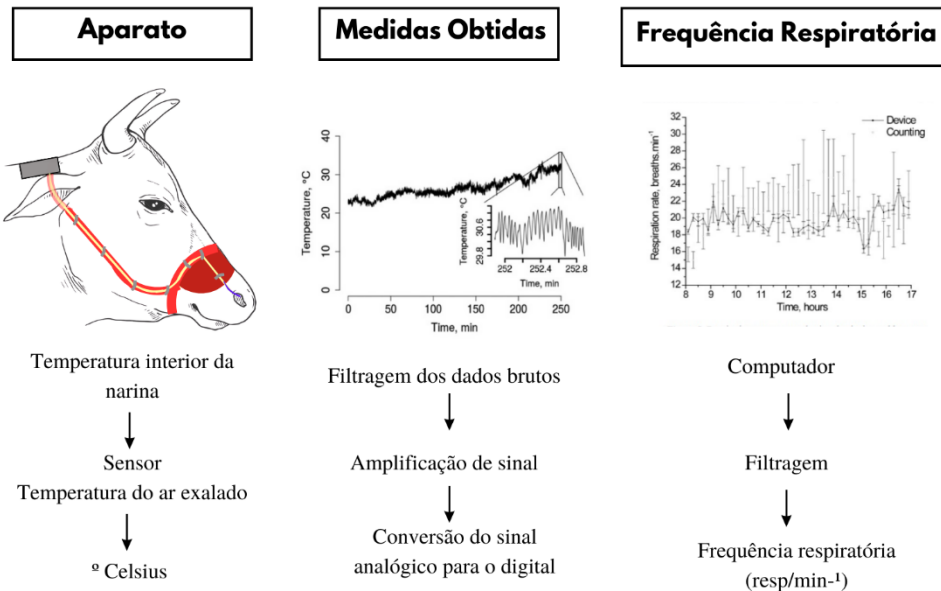


Figura. 11. Esquema ilustrativo do funcionamento do dispositivo desenvolvido e executado por Milan, Maia e Gebremedhin 2016, mostrando como o sensor foi posicionado no animal, as medidas obtidas e a análise de dados até a obtenção da frequência respiratória.

Fonte: Adaptado de Milan, Maia e Gebremedhin 2016 por Ingrid Lima.

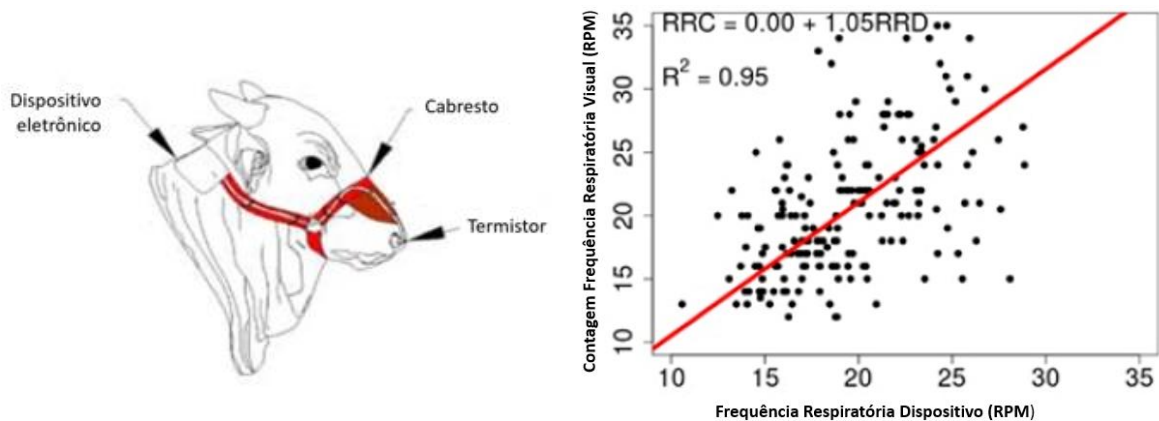


Figura. 12. A. Primeira versão do cabresto desenvolvido para acoplar o dispositivo “FR Maia”. B. Gráfico dos resultados obtidos através de regressão linear da frequência respiratória medida pela contagem do movimento do flanco (FRV) em relação à frequência respiratória medida pelo dispositivo (FRD) em respirações por minuto (RPM).

Fonte: Adaptado de Maia, Milan e Gebremedhin 2016.

O cabresto validado por Maia, Milan e Gebremedhin em 2015 é capaz de avaliar o conforto térmico e o bem-estar dos animais em campo. Contudo, se faz necessário novos estudos quanto aos dispositivos no uso de medidas fisiológicas, em questão de armazenagem dos dados obtidos e de coletas à campo.

### **3. Objetivo geral**

O objetivo desse estudo foi propor avanços na versão do dispositivo MaiaFR (Maia e Milan em 2015) intitulada “*In\_Comfort\_Sensor*”, para monitorar em tempo real medida da frequência respiratória dos animais manejados à campo.

#### **3.1 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos do estudo foram: registrar em bovinos de corte e leite manejados a campo a frequência respiratória, temperatura do ar expirado e da superfície da pele ao longo de 24 horas, utilizando o *In\_Comfort\_Sensor*.

Verificar a influência das respostas meteorológicas (temperatura e umidade do ar; radiação solar, temperatura do globo negro, vento e pluviosidade) sobre as respostas fisiológicas (frequência respiratória, temperatura do ar expirado e da pele) registrados pelo *In\_Comfort\_Sensor* em bovinos de corte e leite manejados a campo ao longo de 24 horas.

Estimar o número de horas ao longo do ano que bovinos a corte e leite podem estar em estresse térmico.

### **4. Materiais e Métodos**

#### 4.1 Local, animais e instalações

O uso e manejo dos animais do presente estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais da FCAV/Unesp Jaboticabal, com protocolo n° 2905/21. O estudo experimental foi realizado na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Jaboticabal, Brasil (latitude 21°S). Foram utilizados 9 bovinos machos inteiros F1 Nelore x Angus, com peso médio de 595,83 kg (DP = 10,86), 8 vacas leiteiras não lactantes da raça Holandesa com média de peso de 500 kg (DP = 9,11) para medir a temperatura do ar expirado.

Os bovinos machos ficaram alocados em dois currais experimentais com 909 e 872 m<sup>2</sup> (Figura 13), um sombreado por painéis fotovoltaicos e outro sem sombreamento, respectivamente no laboratório de bioclimatologia da FCAV/UNESP. As vacas Holandês ficaram alocadas no setor da granja leiteira da referida FCAV/UNESP Jaboticabal, em piquete medindo 10.000 m<sup>2</sup> sem sombreamento com pasto, localizado de frente aos piquetes dos bovinos machos.



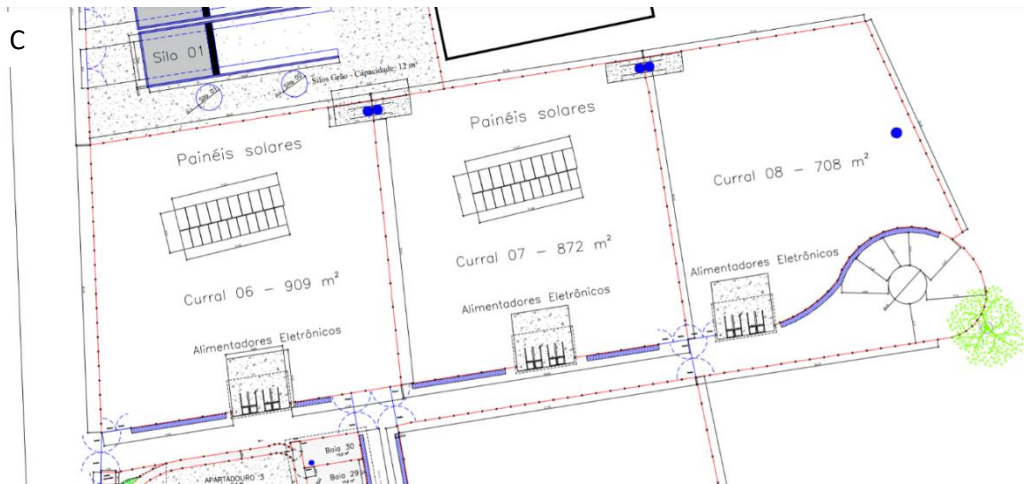


Figura. 13. A. Piquete experimental com estrutura de sombreamento por painéis fotovoltaicos. B. Animais alocados no piquete experimental. C. Currais experimentais do laboratório de Bioclimatologia Animal da Unesp, Campus de Jaboticabal - SP.

Fonte: Gustavo Moura, 2022.

#### 4.2 Layout e componentes do *In\_Comfort\_Sensor*

O dispositivo *In\_Comfort\_Sensor* é composto por (1) cabresto, (2) placa, sensores e bateria e (3) aparato de proteção.

(1) Cabresto: confeccionados em nylon e couro a partir das medidas tiradas diretamente no focinho dos animais para fixar o *In\_Comfort\_Sensor* de forma ajustável à cada animal. Também foram confeccionadas capas protetoras em couro e pequenas caixas de alumínio (2 cm de altura, 5 cm de largura e 7 cm de comprimento), alojadas nas capas de couro fixados ao cabresto, assim, protegendo o hardware contra a intempéries do ambiente como chuva e poeira, além de danos mecânico nos componentes eletrônicos. (Figuras 14).

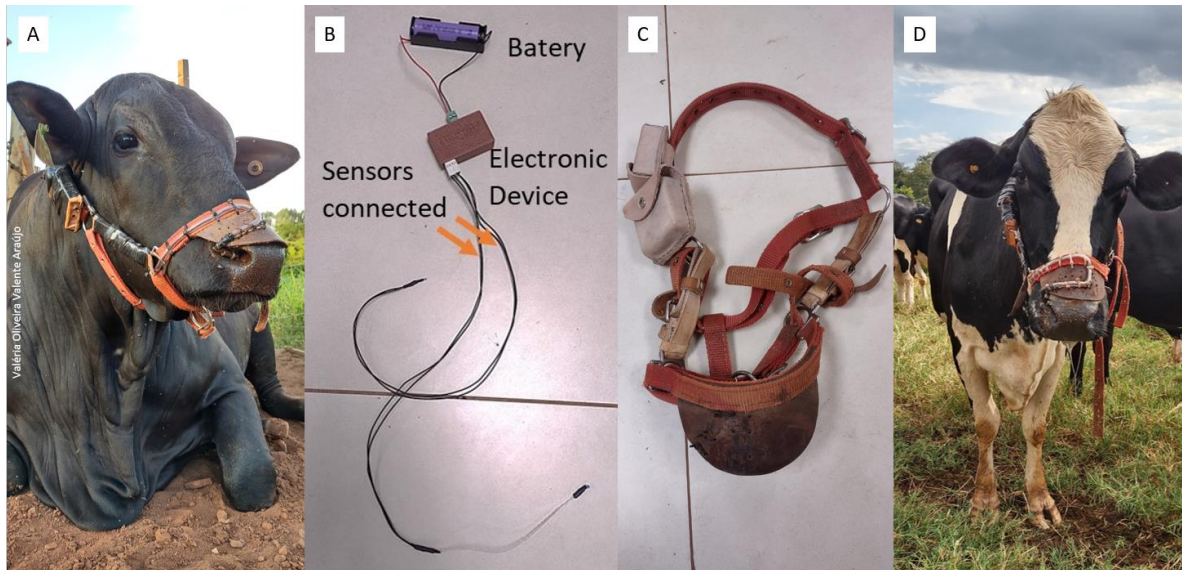


Figura. 14 A. Cabresto desenvolvido para alojar o hardware do dispositivo para ser fixado nos animais. 1 B. Sensores e baterias conectados no *In\_Comfort\_Sensor*. 1 C. Cabresto confeccionado em nylon e capas protetoras feitas em couro para proteção da bateria e do dispositivo *In\_Comfort\_Sensor*. 1 D. Animal bovino leiteiro da raça holandesa utilizando cabresto com o dispositivo em funcionamento à campo.

Fonte: Arquivo pessoal, 2022.

(2) Placa, sensores e bateria: O dispositivo atual, denominado de *In\_Comfort\_Sensor*, foi desenvolvido por Wellison Roberto pela empresa DevelopNow, situada em São Carlos. Sua nova versão tem dimensões de 3,5 x 6 x 2 cm (comprimento x largura x altura) e massa de 0,054 kg, montado em um cabresto. Quando comparado com o FRMaia (Figura 15), os avanços propostos do *In\_Comfort\_Sensor* são realizar continuamente, ao longo de 24 horas, o registro da frequência respiratória (FR, resp  $\text{min}^{-1}$ ), temperatura do ar expirado (TEXP, °C) e temperatura da superfície da pele (TS, °C) em intervalos regulares de um minuto.

Esses registros são feitos através da captação de 1200 pontos por minuto (20 Hz – 20 pontos por segundo) e são transmitidos via bluetooth BLE (alcance estimado de 350 m sem barreiras), lidos no celular em tempo real, e simultaneamente gravadas no cartão de memória e armazenadas no dispositivo para posterior processamento. Além de trazer modificações na bateria, a qual trás em sua nova versão uma bateria compacta e tempo de duração de 8 dias consecutivos (Figura 16).



Figura 15. A. Cabresto primeira versão dispositivo “FRMaia” Maia et Al. 2016 em vacas leiteiras. B. Cabresto e dispositivo nova versão In\_Comfort\_Sensor Maia et Al. 2022 em bovinos machos.

Fonte: Arquivo Maia 2016. Arquivo pessoal 2022.

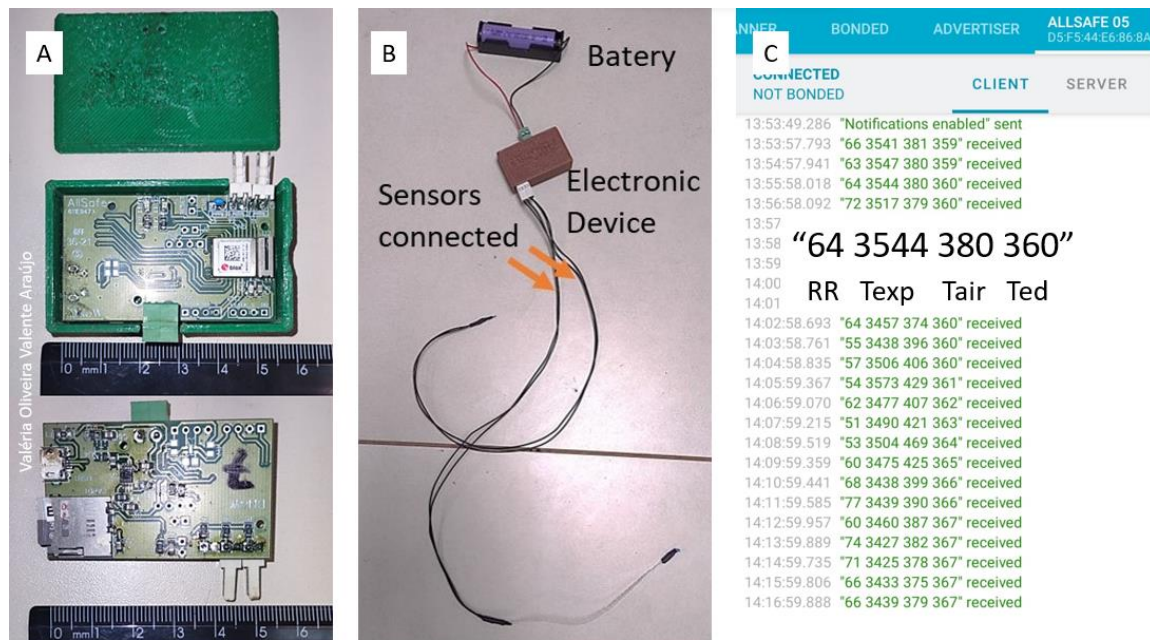


Figura. 16. A. Detalhamento da placa do hardware eletrônico do In\_Comfort\_Sensor. B. Atualização do dispositivo e seus componentes, sensores e bateria. C. Dados das medidas obtidas através do dispositivo In\_Comfort\_Sensor em tempo real, onde a primeira coluna são valores da Frequência Respiratória, Temperatura do Ar Expirado, Temperatura do Ar, Temperatura da Placa do dispositivo..

Fonte: Arquivo pessoal 2022

(3) Aparato de Proteção: para que o sensor fosse posicionado corretamente na narina do animal foi necessário desenvolver um aparato de proteção para o sensor e para que o animal não se machucasse de alguma forma. A ponta de prova de proteção do sensor de temperatura do ar expirado foi primeiramente desenvolvida em software 3D (Solid Works) e imprimidas em impressora 3D em nylon, em seguida em peças de aço confeccionados em torno mecânico e posteriormente cromadas para evitar a corrosão (Figura 17)





Figura. 17. Desenvolvimento da ponta de prova de proteção do sensor de temperatura inserido justo a frente da narina do animal.  
Fonte: Alan Maia e Gustavo Moura, 2022.

Finalizado os testes dos aparatos de proteção do sensor de temperatura do ar expirado iniciou o condicionamento dos animais ao uso do cabresto com a ponta de prova e com o dispositivo acoplado funcionando em condições de campo (Figura 18). Após os animais estarem utilizando os dispositivos por alguns dias normalmente, foi iniciado as coletas de dados.

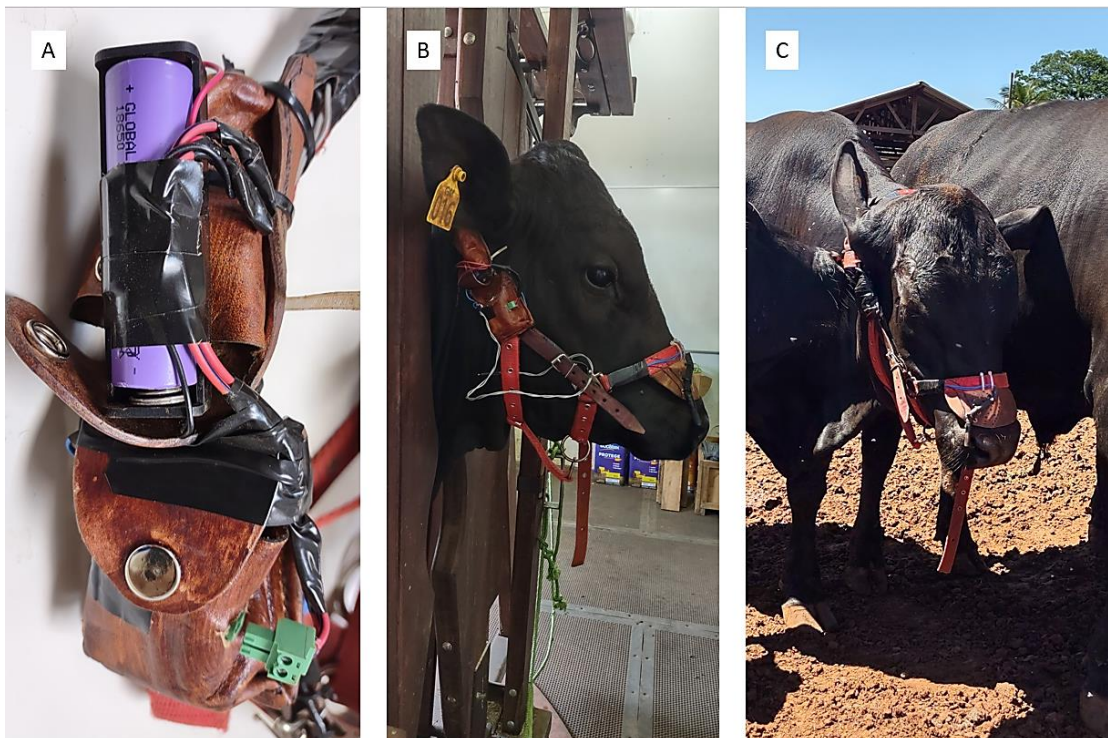




Figura. 18. A. Dispositivo *In\_Comfort\_Sensor* sendo montado no cabresto. B. Animal macho NelorexAngus contido em tronco de contenção para ajustar cabresto e funcionamento do *In\_Comfort\_Sensor*. C e D. Período de condicionamento dos animais a utilizarem os dispositivos em condições de campo.  
Fonte: Arquivo pessoal, 2022.

### 4.3 Coletas de Dados

A medida fisiológica coletada foi a frequência respiratória através da utilização do *In\_Comfort\_Sensor* em bovinos de corte, F1 Angus x Nelores. As coletas foram feitas durante 8 dias consecutivos ao longo de 24 horas do dia. O período de coleta dos bovinos de corte foi em fevereiro de 2022. Durante o período de coletas foi necessário que pela manhã os animais fossem manejados em tronco de contenção para realização de higienização das ponteiras de provas dos sensores.

Também foram utilizadas nove vacas da raça Holandesa, não lactantes para coleta experimental da frequência respiratória de animais expostos à radiação solar. Igualmente à metodologia dos bois, nessas vacas foram colocados o cabresto com o *In\_Comfort\_Sensor*, ajustados e bem fixados à cada animal para que a medida de frequência respiratória fosse precisa ao longo de 24 horas. As coletas foram realizadas nos meses de março e abril de 2022, por 8 dias, onde durante as manhãs os animais eram direcionados ao tronco de contenção para limpeza das ponteiras de prova dos sensores (Figura 19).



Figura. 19. Vacas Holandesas utilizando o dispositivo “In\_Comfort\_Sensor” em piquete com pastagem no setor de Bovinocultura de Leite da Unesp, Campus de Jaboticabal.

Fonte: Arquivo pessoal, 2022.

O dispositivo “In\_Comfort\_Sensor” foi programado para realizar continuamente o registro ao longo de 24 horas da frequência respiratória (FR, resp  $\text{min}^{-1}$ ), temperatura do ar expirado (TEXP,  $^{\circ}\text{C}$ ) e temperatura da superfície da pele (TS,  $^{\circ}\text{C}$ ) em intervalos regulares de um minuto. Esses registros eram transmitidos via wireless lidos no celular em tempo real, e ao mesmo tempo gravadas no cartão de memória e armazenadas no dispositivo para posterior processamento.

A temperatura do ar expirado pela narina foi medido por sensor de temperatura, moldado em forma de “J” e protegido por uma caixa metálica. Registrando a temperatura do ar a uma taxa de 100 Hz e o sinal filtrado, convertido em dados digitais

e armazenados em pen drive. A frequência então foi calculada pelo número de oscilações do sinal, medidas que fazem necessário a precisão dos dados.

Durante o período de tempo que os animais permaneceram com o dispositivo “In\_Comfort\_Sensor” os dados ambientais mostrados na Tabela 1 foram medidos continuamente (24 horas por dia), utilizando uma estação meteorológica (CR1000X, Campbell, Logan, UT, EUA). A estação meteorológica se encontra montada ao lado dos currais experimentais, conforme mostra a Figura 20.

Tabela 1 Variáveis meteorológicas medidas.

Variáveis	Símbolo	Unidade	Taxa de amostragem	Amostras esperadas
Pressão atmosférica	$P_{atm}$	kPa	1 min	233.5k
Temperatura do ar	$T_A$	°C	1 min	233.5k
Temperatura do globo negro ao sol	$T_G$	°C	1 min	233.5k
Temperatura do globo negro a sombra	$T_{GS}$	°C	1 min	233.5k
Pressão parcial de vapor da atmosfera	$P_V\{T_A\}$	kPa	1 min	233.5k
Umidade relativa do ar	$U_R$	%	1 min	233.5k
Velocidade do vento	$U_a$	$m\ s^{-1}$	1 min	233.5k
Direção do vento	$U_d$	graus	1 min	233.5k
Irradiância solar	$R_S$	$W\ m^{-2}$	1 min	233.5k
Irradiância solar ultravioleta B	$R_{UV}$	$W\ m^{-2}$	1 min	233.5k
Irradiância de ondas longas	$R_L$	$W\ m^{-2}$	1 min	233.5k



Figura. 20. Estação meteorológica localizada ao lado dos piquetes experimentais do Laboratório de Bioclimatologia Animal da Unesp, Campus de Jaboticabal.

Fonte: Arquivo pessoal, 2022.

Através da obtenção dos dados das variáveis meteorológicas apresentadas na tabela acima ao longo do ano de 2022 foi desenvolvido por Maia et. Al. 2023 um índice de estresse térmico

## 5. Análise Estatística

Foram realizadas análises de medidas de tendência central, normalidade, correlação, multivariada e modelagem para avaliar o efeito do tipo do dia da coleta, do animal, do piquete (com sombra e sem sombra) e da hora do dia e suas interações no valor da frequência respiratória e a temperatura do ar expirado tanto nos bovinos de corte com de leite.

A modelagem matemática utilizada para análise de variância foi aplicada o método de modelos lineares baseados em mínimos quadrados com o procedimento

“Generalized Linear Models” (PROC GLM) do Statistical Sistema de Análise (SAS Institute, Versão 8) de acordo com Littell et al. (2006). O modelo estatístico linear usado para descrever a frequência respiratória e a temperatura do ar expirado dos bovinos de corte foi:

$$Y_{ijkLm} = \mu + C_i + A(C)_{ji} + D_k + (CD)_{ik} + H_L + (CH)_{iL} + (CDH)_{ikL} + \varepsilon_{ijkLm}$$

onde  $Y_{ijkLm}$  é frequência respiratória e temperatura do ar expirado;  $\mu$  é a média;  $C_i$  é o efeito fixo do  $i$ -ésimo curral ( $i$  = com sombra e sem sombra);  $A_j$  é o efeito fixo do  $j$ -ésimo animal dentro do  $j$ -ésimo curral (se  $i=1$  então  $j=1, \dots, 5$ ; se  $i=2$  então  $j=1, \dots, 4$ );  $D_k$  é o efeito fixo do  $k$ -ésimo dia de coleta ( $k = 1, \dots, 10$ );  $H_L$  é o efeito fixo da  $L$ -ésima classe de hora de coleta ( $k = 1, \dots, 24$ );  $CH_{iL}$  é a interação entre o  $i$ -ésimo curral com a  $L$ -ésima classe de hora de coleta;  $CDH_{ikL}$  é a interação entre o  $i$ -ésimo curral com o  $k$ -ésimo dia de coleta com a  $L$ -ésima classe de hora de coleta;  $\varepsilon_{ijkL}$  é o termo residual, incluindo o erro aleatório, assumiu-se ser independente e identicamente distribuídos  $N(0, \sigma^2)$ .

O modelo estatístico linear usado para descrever a frequência respiratória e a temperatura do ar expirado dos bovinos de leite foi:

$$Y_{ijkL} = \mu + A_i + D_j + (AD)_{ij} + H_k + (AH)_{ik} + (DH)_{jk} + (ADH)_{ijk} + \varepsilon_{ijkL}$$

onde  $Y_{ijkLm}$  é frequência respiratória e temperatura do ar expirado;  $\mu$  é a média;  $A_i$  é o efeito fixo do  $i$ -ésimo animal;  $D_j$  é o efeito fixo do  $j$ -ésimo dia de coleta ( $k = 1, \dots, 10$ );  $AD_{ij}$  é a interação entre o efeito fixo do  $i$ -ésimo animal com o efeito fixo do  $j$ -ésimo dia de coleta;  $H_k$  é o efeito fixo da  $L$ -ésima classe de hora de coleta ( $k = 1, \dots, 24$ );  $AH_{ik}$  é a interação entre o  $i$ -ésimo animal com a  $k$ -ésima classe de hora de coleta;  $DH_{jk}$  é a interação entre o  $j$ -ésimo dia de coleta com a  $k$ -ésima classe de hora de coleta;  $ADH_{ijkL}$  é a interação entre o  $i$ -ésimo animal com o  $j$ -ésimo dia de coleta com a  $k$ -ésima classe de hora de coleta;  $\varepsilon_{ijkL}$  é o termo residual, incluindo o erro aleatório, assumiu-se ser independente e identicamente distribuídos  $N(0, \sigma^2)$ .

## 6. Resultados e Discussões

### 6.1 Frequência respiratória medida com In\_Comfort\_Sensor

#### 6.1.1 Bovinos machos

A figura abaixo (Figura 21) mostra que o In\_Comfort\_Sensor, desenvolvido pela DevelopNow, foi capaz de mensurar a resposta fisiológica estudada, a frequência respiratória, ao longo dos dias de forma contínua. No caso de bovinos machos F1 Angus x Nelore, a FR obteve valor mínimo em torno de 30 respirações por minuto e máximo por volta de 90 e 65 respirações por minutos para os animais manejados em piquete sem sombreamento e com sombreamento, respectivamente. Em média os bovinos de corte nas horas de maior intensidade da radiação solar (09:00 horas até por volta das 15:00) apresentaram 25 respirações a menos para os animais manejados nos currais com sombreamento (Figura 22).

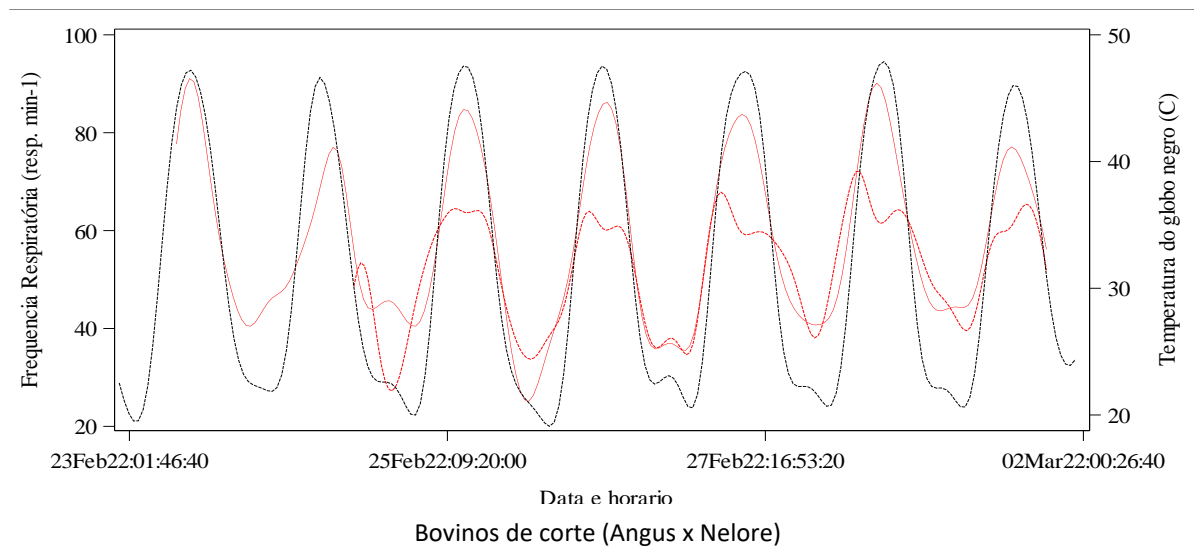


Figura. 21. Polinômio segmentado ajustado a partir das médias estimadas por quadrados mínimos da frequência respiratória (resp. min.<sup>-1</sup>) de bovinos de corte (angus x nelore) manejados em piquete com sombreamento (—) e sem sombreamento (-----), além da temperatura do globo negro (-----) em graus celsius em função do dia e hora do dia.

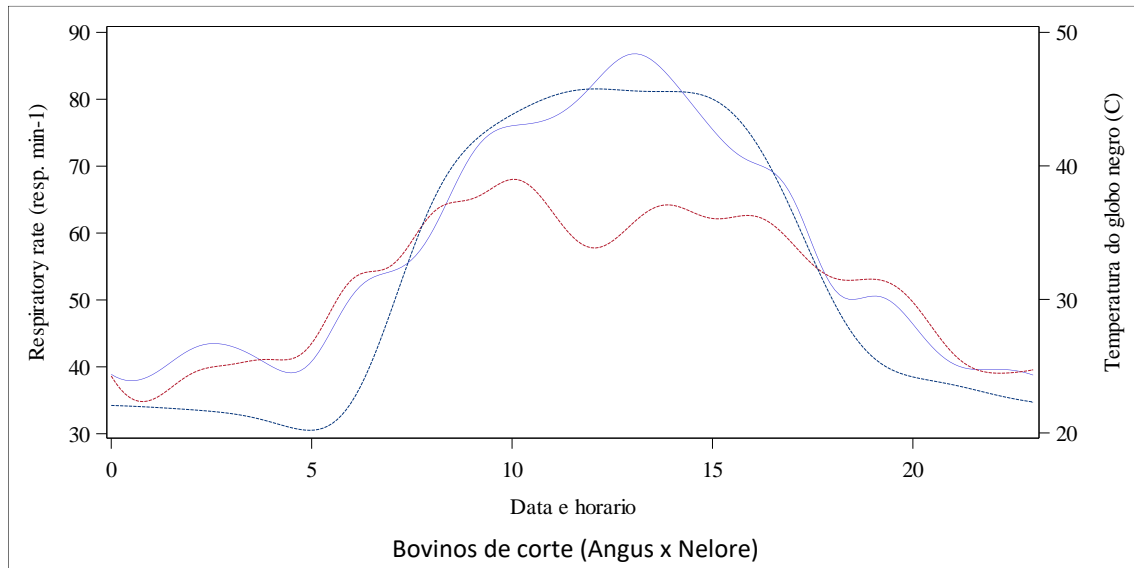


Figura 22 Polinômio segmentado ajustado a partir das médias estimadas por quadrados mínimos da frequência respiratória (resp. min.<sup>-1</sup>) de bovinos de corte (angus x nelore) e de leite (vacas Holandesas) manejados em piquete com sombreamento (—) e sem sombreamento (----), além da temperatura do globo negro (----) em graus celsius ao longo de 24 horas.

A utilização do dispositivo para monitorar continuamente a FR possibilita verificar quantas horas ao longo de um período de tempo o animal está em estresse térmico ou está em condições de conforto térmico. Por exemplo: no caso dos bovinos de corte entre os dias 23 de fevereiro ao dia 02 de março de 2022 nos currais sem sombra, se considerarmos que acima de 60 respirações por minutos o animal está em estresse térmico, os animais em médias ficaram 7 horas por dia, um total de aproximadamente 56 horas nesse intervalo de tempo Figura 23.

Sob condições de carga térmica elevada, bovinos podem transferir para o ambiente cerca de 20% de sua taxa metabólica por meio da evaporação pelo sistema respiratório (Maia et al., 2005b). Resumidamente, os mecanismos físicos envolvidos na transferência de calor pelo sistema respiratório e o papel do padrão respiratório enquanto modulador desses mecanismos.

É interessante notar nesses resultados apresentados na Figura 23 para os animais ultrapassarem uma FR > 60 respirações por minuto o nível crítico de irradiância solar para os bovinos de corte foi acima de 550 Wm<sup>-2</sup>. Evidenciando a importância do dispositivo para se determinar a tolerância dos animais ao calor,

considerando variáveis como raça, estado fisiológico, idade e cor, fatores que podem influenciar a resposta ao estresse térmico.

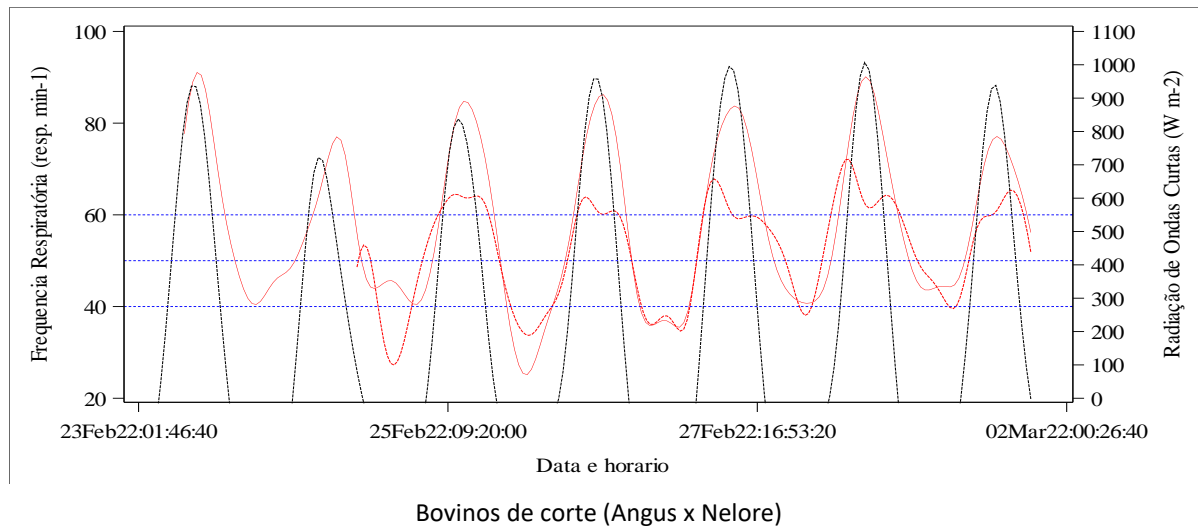


Figura. 23. Polinômio segmentado ajustado a partir das médias estimadas por quadrados mínimos da frequência respiratória ( $\text{resp. min}^{-1}$ ) de bovinos de corte (angus x nelore) manejados em piquete com sombreamento (—) e sem sombreamento (-----), além da irradiância solar de ondas curtas (-----) entre 200 até 3600 nanômetros ( $\text{W m}^{-2}$ ) em função do dia e hora do dia.

### 6.1.2 Bovinos fêmeas

Limites de estresse térmico com base na frequência respiratória.

O trato respiratório superior de mamíferos e aves desempenham importantes mecanismos de defesa para proteção do ambiente alveolar, o qual, além do filtro contra patógenos e partículas físicas, é também responsável pelo “acondicionamento” do ar durante o processo inalatório e conservação de vapor de  $\text{H}_2\text{O}$  quando o ar é expirado. Durante esse processo, estão envolvidos mecanismos físicos de transferência de massa e calor. Conforme o ar é inspirado, sua temperatura aproxima-se da superfície do trato respiratório superior e, ao mesmo tempo, começa a saturar-se com vapor de água (DaSilva et al., 2002). Quando chega aos pulmões, encontra-

se completamente saturado a esta temperatura. Durante esse processo, a superfície do trato respiratório é resfriada por meio da evaporação e convecção, onde o grau desse resfriamento depende, principalmente, da temperatura e conteúdo de umidade do ar inspirado.

De acordo com o In\_Comfort\_Index os dias do ano de 2022 foram classificados como chuvosos, amenos, quente e muito quentes. Mais especificamente, os dias de avaliação da frequência respiratória foram classificados como muito quentes. Nesses dias, a  $FR$  de bovinos leiteiros oscilou de 25 a 90 respirações  $\text{min}^{-1}$ , para aqueles mantidos em currais sem disponibilidade de sombra (Figura 24). A Figura 25 mostra a mensuração da  $FR$  de forma contínua ao longo dos dias do período experimental. No caso das vacas Holandês, manejadas em piquete sem sombreamento o valor da  $FR$  foi maior que de bovinos machos.

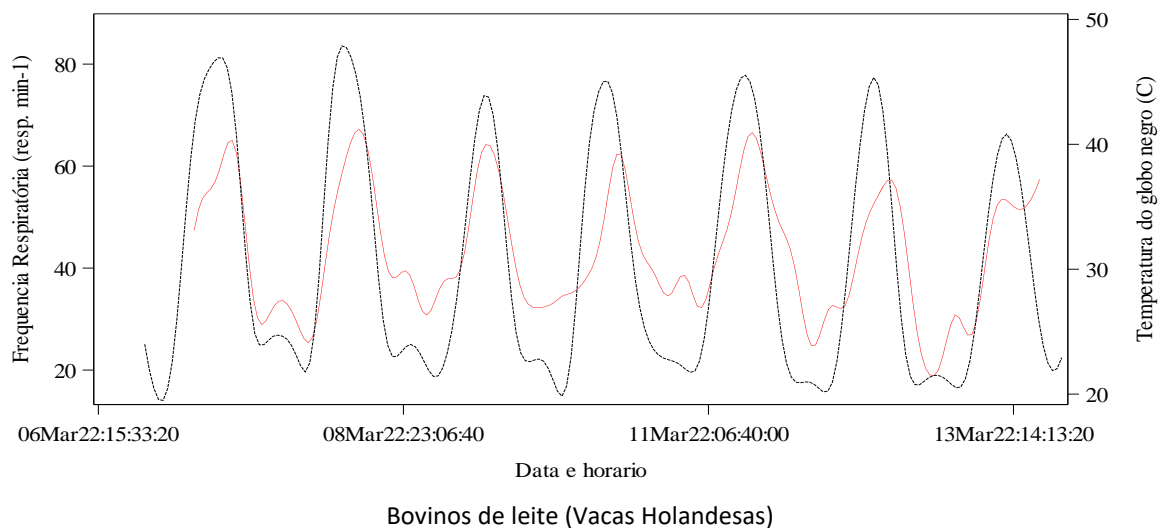


Figura. 24. Polinômio segmentado ajustado a partir das médias estimadas por quadrados mínimos da frequência respiratória ( $\text{resp. min}^{-1}$ ) de bovinos de leite (vacas Holandesas) manejados em piquete sem sombreamento (-----), além da temperatura do globo negro (-----) em graus celsius em função do dia e hora do dia.

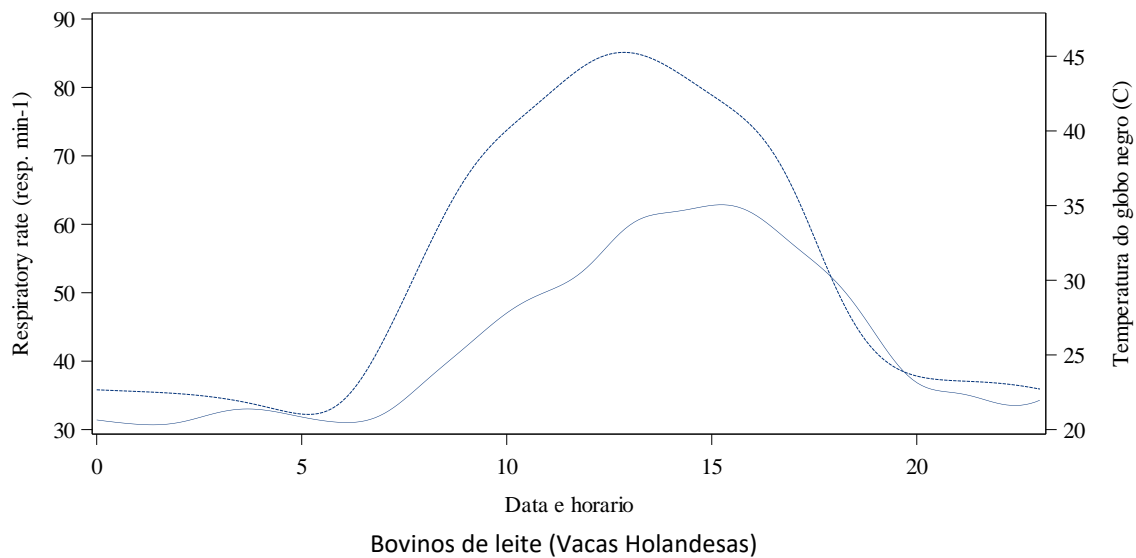


Figura. 25. Polinômio segmentado ajustado a partir das médias estimadas por quadrados mínimos da frequência respiratória (resp.  $\text{min}^{-1}$ ) de bovinos de corte (angus x nelore) e de leite (vacas Holandesas) manejados em piquete com sombreamento (—) e sem sombreamento (----), além da temperatura do globo negro (-----) em graus celsius ao longo de 24 horas.

Com o uso do In\_Comfort\_Sensor para monitorar FR é possível verificar quantas horas ao longo do dia ou por um período de tempo o animal está em estresse térmico. No caso das vacas expostas à radiação solar sem nenhum tipo de sombreamento, se considerado acima de 60 respirações por minuto o animal está em estresse térmico, as vacas experimentaram 10 horas por dia entre 6 à 13 de março de 2022 (Figura 26). Para vacas leiteiras ultrapassar a FR acima de  $60 \text{ resp min}^{-1}$  o nível crítico de irradiância solar foi acima de  $650 \text{ Wm}^{-2}$ . Essa tolerância maior das vacas Holandês pode ser explicada devido serem animais não lactantes. Consequentemente menor geração de calor metabólico, menor necessidade de perder calor para o meio.

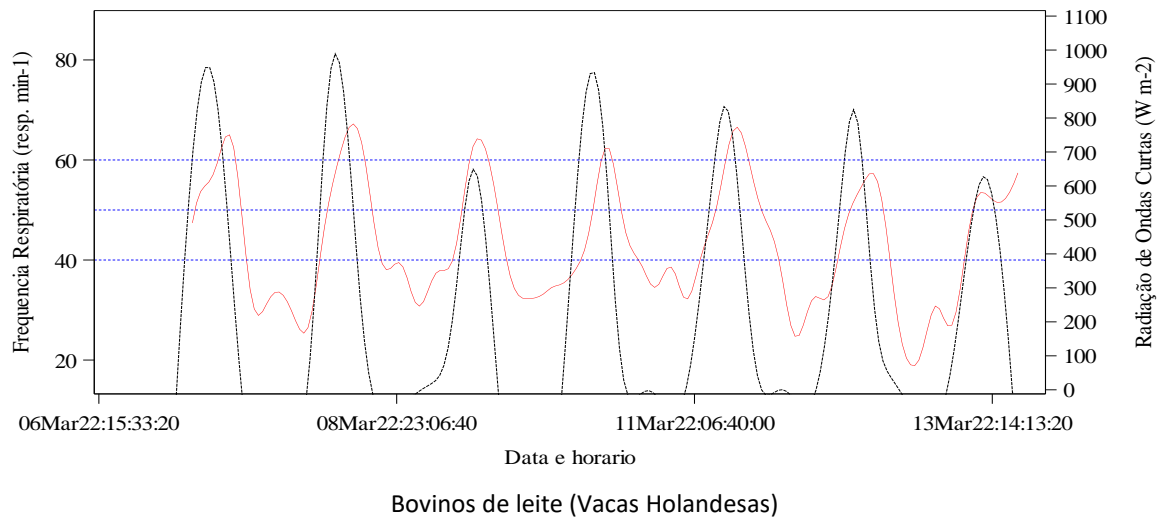


Figura. 26. Polinômio segmentado ajustado a partir das médias estimadas por quadrados mínimos da frequência respiratória (resp.  $\text{min}^{-1}$ ) de bovinos de corte (angus x nelore) e de leite (vacas Holandesas) manejados em piquete com sombreamento (—) e sem sombreamento (-----), além da irradiância solar de ondas curtas (-----) entre 200 até 3600 nanômetros ( $\text{W m}^{-2}$ ) em função do dia e hora do dia.

A Figura 27 mostra a relação entre a frequência respiratória ao longo do dia e hora com a temperatura do ar expirado das vacas Holandesas. Podemos observar que o limite da temperatura do ar expirado se encontra oscilando em 34 até 36 °C. Esse é um dado muito importante que pode ser utilizado para acompanhar a temperatura do animal em tempo real. Por exemplo: se o animal apresentar um estado de infecção, sua temperatura do ar expirado pode se elevar ultrapassando o limite superior e um alerta pode ser enviado informando que o animal se encontra com alteração da sua temperatura em função de um estado inflamatório.

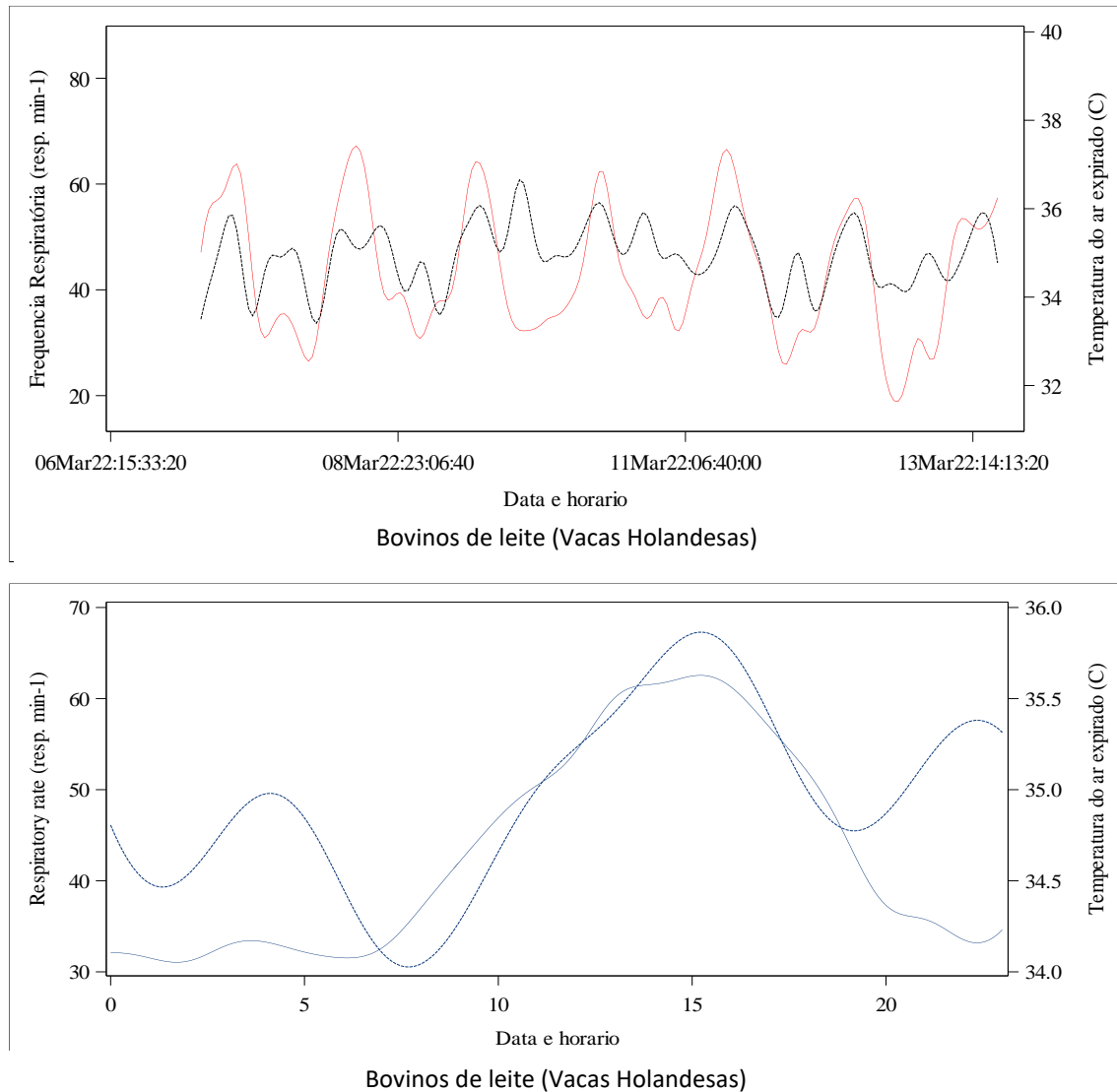


Figura. 27. Polinômio segmentado ajustado a partir das médias estimadas por quadrados mínimos da frequência respiratória (— resp. min.<sup>-1</sup>) e temperatura do ar expirado (----- °C) bovinos de leite (vacas Holandesas) manejados em piquete sem sombreamento em função do dia e hora do dia.

Dentre essas horas de desconforto térmico experimentadas pelos animais pode-se notar no gráfico abaixo (Figura 28) que as condições de irradiância solar em que o animal está submetido afeta diretamente nas respostas fisiológicas do animal, observa-se a variação da frequência respiratória dos bovinos estudados ao longo do dia em que a irradiância chegou a níveis de aproximadamente  $1000 \text{ Wm}^{-2}$  variou entre conforto, desconforto e estresse, nos horários do dia mais quentes, entre as 10 e 15 horas.

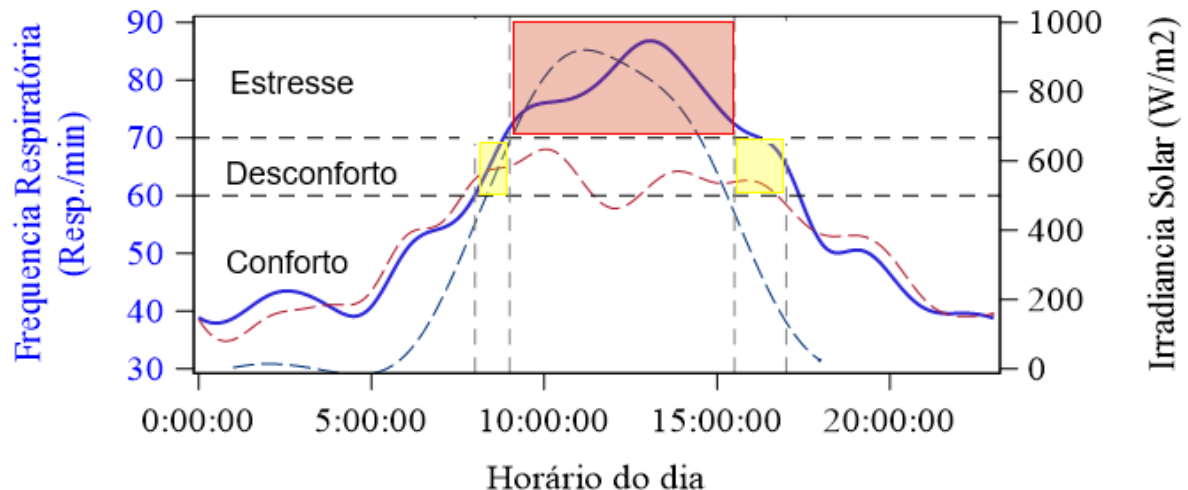


Figura. 28. Quantificação do estresse calórico ao longo do dia em relação à frequência respiratória do animal em relação à carga de irradiância solar recebida.

Dadas estas circunstâncias acima, prevê-se que o bovino de corte e holandês mantidos sem sombra experimente um mínimo de 300 horas de desconforto leve e 600 horas de estresse térmico anualmente. A disponibilidade de sombra para bovinos de corte não foi suficiente para eliminar o estresse térmico. Provavelmente ainda experimentarão 900 horas de leve desconforto, o que influencia na frequência respiratória dos animais.

Os limiares de estresse térmico foram então determinados para bovinos mestiços e Holandês, ajustando-se um modelo de regressão segmentada para  $FR$  como função dos dias de avaliação, hora do dia e carga térmica (e.g., irradiância solar ou temperatura de globo negro), os quais: ausência de estresse térmico ( $FR < 60$  respirações  $\text{min}^{-1}$ ), estresse térmico moderado ( $60 \text{ respirações } \text{min}^{-1} < FR \leq 70$  respirações  $\text{min}^{-1}$ ) e estresse térmico ( $FR > 70$  respirações  $\text{min}^{-1}$ ).

Eigenberg et al. 2005, propuseram um estimador indireto da frequência respiratória baseado em dados ambientais de Nebraska, EUA, gerando um índice de frequência respiratória. A aplicação deste índice às condições ambientais de clima tropical, como o do Brasil, obteve uma baixa correlação, devido à utilização de situações ambientais diferentes nas aplicações das fórmulas, devido a essa baixa relação e às variáveis meteorológicas.

De Shazer 2009, baseados em estudos de Eigenberg et. Al. 2005, Gaughan et al. 2000 e outros pesquisadores, desenvolveu estudos baseados nos índices temperatura e umidade e correlacionando aos indicadores de estresse térmico, utilizando também a frequência respiratória como um bom indicador de estresse, obtendo uma relação para desenvolver limites de FR equivalentes para categorias de THI, assumindo uma carga de radiação solar de  $800 \text{ Wm}^{-2}$ , uma velocidade do vento de  $0 \text{ m/s}$ , faixa de temperatura de bulbo seco de  $25$  a  $40^\circ\text{C}$  e umidade relativa entre  $30$  e  $50\%$ .

Após observados os estudos desenvolvidos, o Índice InComfort Maia et. Al. 2023 é o mais coerente em explicar a variável fisiológica estudada em questão, a frequência respiratória como um bioindicador seguro, no referente estudo proposto à condições climáticas simultaneamente estudadas por Maia et Al. 2023, sendo possível também a definição de faixas de estresse térmico baseados nos valores de FR e variáveis meteorológicas do clima tropical brasileiro.

## **6.2 Aplicações**

Para melhor compreensão em conjunto às coletas de dados ao decorrer do período experimental foram avaliados 100 dias ao longo do ano e classificados como muito quentes, segundo o índice InComfort\_Index (Maia et al. 2023), o qual foi utilizado para classificar os dias do ano de acordo com o valor das respostas meteorológicas. Com o InComfort\_Index (Maia et al. 2023), um parâmetro ambiental que combina efeito de variáveis meteorológicas (radiação solar, temperaturas do ar e radiante, umidade, precipitação e velocidade do vento), conseguimos quantificar o número de horas que o gado provavelmente sofrerá estresse térmico, como demonstrado graficamente (Figura 29).

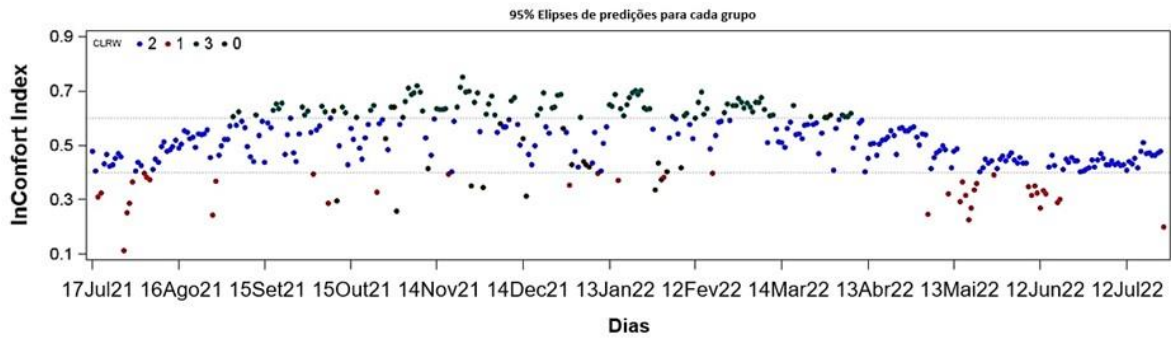


Figura. 29. Índice InComfort (Maia et al. 2023) para classificação dos dias quentes ao longo do ano.

O Índice InComfort (Maia et al. 2023) é importante e necessário para prever as alterações nas respostas fisiológicas dos animais, sendo independente das respostas fisiológicas dos animais, uma vez que é realizado a partir das variáveis meteorológicas, portanto, quanto mais variáveis ele tiver e por um período de tempo maior melhor ele tende a ser devido pegar uma maior amplitude de variações do meio.

Para a produção animal é importante que tenha um índice de conforto térmico além de tecnologias precisas que mostrem o nível de estresse em que os animais estejam submetidos, não só pela questão produtiva dos animais mas também em relação aos cinco domínios dos animais serem atendidos minimamente, uma vez que estes são os principais biosensores do ambiente.

As respostas fisiológicas dos biosensores, como a frequência respiratória e a utilização em conjunto do índice InComfort\_Index de Maia et. Al. 2023 e o *In\_Comfort\_Sensor* visa-se aperfeiçoar a sustentabilidade do confinamento a partir de um sistema de sombreamento eficiente e formas de mitigação do estresse térmico de acordo com os sistemas de produção animal. Garantindo que o animal não fique exposto tanto tempo às situações de estresse térmico crítico, levando-o, por exemplo, ao estoque de calor nos músculos do animal em que seja maior que sua capacidade de dissipar de seu corpo (hipertemia), sendo importante a verificação da FR de forma rápida e eficiente através do aplicativo do *In\_Comfort\_Sensor*.

Atualmente em granjas leiteiras e alguns confinamentos utiliza-se os mecanismos de aspersores de forma não eficiente, baseado em informações sobre o

Índice de Temperatura e Umidade (THI) ou por decisões equivocadas do produtor. Situações onde a água aspergida não atinge a superfície do animal, ou excesso de água aspergida provocando a produção de lama, além de que nos confinamentos a aspersão é mais comumente utilizada com o objetivo de diminuir as partículas de poeira em suspensão, provam a ineficiência do sistema de asperção nas produções comerciais.

Outro fator importante é a integração desses sistemas de resfriamento evaporativo com o In\_Comfort\_Sensor, de forma a atender a necessidade do animal, observando em tempo real a frequência respiratória, a temperatura do ar ( $T_{AR}$ ) e assim a decisão de acionar os sistemas e atender as necessidades dos animais. Visando o sucesso do funcionamento dos sistemas por parte dos animais é necessário realizar um treinamento dos mesmos, com reforço positivo, até que sejam capazes de assimilar que ao atingir seu estresse térmico moderado ( $60 \text{ respirações min}^{-1} < FR \leq 70 \text{ respirações min}^{-1}$ ) procure os sistemas de resfriamento e então seja dissipado o estoque de calor e ele retorne ao seu equilíbrio térmico. Para cadeia de produção de bovinos de corte, a utilização do In\_Comfort\_Sensor em currais de confinamento tem grande potencial para melhorar a gestão do microclima ao qual os animais são expostos, conforto térmico e bem-estar animal.

## **7. Considerações finais**

No presente estudo onde pretendia ser investigado a capacidade de avaliação do conforto térmico e o bem-estar animal dos animais em campo com estudos quanto ao uso da nova versão do dispositivo no uso de medidas fisiológicas e sua armazenagem de dados. Os resultados obtidos puderam mostrar que o dispositivo “InComfort\_Sensor” foi capaz de monitorar continuamente a frequência respiratória e temperatura do ar expirado em bovinos em tempo real por um longo período de tempo; o dispositivo “InComfort\_Sensor” se mostrou capaz de verificar em tempo real se o animal está entrando em estresse térmico ou está em condições de conforto térmico; o dispositivo “InComfort\_Sensor” pode ser utilizado para monitorar em tempo real a

temperatura do ar expirado do animal e essa temperatura ser utilizada para envio de sinal de alerta, caso o animal apresente uma alteração dessa temperatura pode indicar uma infecção com estado febril.

## 8. Referências Bibliográficas

**Agricultural and Biological Engineers**, p. 1-3, 2014.

ATKINS, Ian K. et al. Continuous respiration rate measurement of heat-stressed dairy cows and relation to environment, body temperature, and lying time. **Transactions of the ASABE**, v. 61, n. 5, p. 1475-1485, 2018.

BAR, D.; KAIM, M.; FLAMENBAUM, I.; HANOCHI, B.; TOAFF-ROSENSTEIN, R. L. (2019) Technical note: Accelerometer-based recording of heavy breathing in lactating and dry cows as an automated measure of heat load. **J. Dairy Sci.** 102, 3480-3486. DOI: 10.3168/jds.2018-15186.

BEATTY, D.T.; BARNES, A.; TAYLOR, E. Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. **Journal of Dairy Science**, v.84, p.972–985, 2006.

BERMAN, A.; (2011) Are adaptations present to support dairy cattle productivity in warm climates? **J Dairy Sci**, 94:2147-2158

BERTOCCHI, L.; VITALI, A.; LACETERA, N.; NARDONE, A.; VARISCO, G.; BERNABUCCI, U. (2014) Seasonal variations in the composition of Holstein cow's milk and temperature-humidity index relationship. **Animal** 8:667-674. DOI: 10.1017/S1751731114000032

BÍCEGO, K. C.; GARGAGLIONI, L. H. Fisiologia térmica de vertebrados. Ebook. **São Paulo: Cultura Acadêmica**, 2020. ISBN: 978-85-7249-066-5.

BROOM, D. M. (2011). Animal welfare: concepts, study methods and indicators. **Revista Colombiana de Ciências Pecuarias**, v. 24, n. 3, p. 306-321.

CHAPINAL, N.; DE PASSILLE, A.M.; WEARY, D.M.; VON KEYSERLINGK, M.A.G.; RUSHEN, J. (2009) Using gait score, walking speed, and lying behavior to detect hoof lesions in dairy cows. **Journal Dairy Science**, 92:4365–4374, 2009.

COLLIER, R.J., GEBREMEDHIN, K.G. (2015) Thermal biology of domestic animals. **Annu Rev Anim Biosci**. v3:513-32. DOI: 10.1146/annurev-animal-022114-110659.

DANTAS, M.R.T., de SOUZA JUNIOR, J. B. F, DOMINGOS, H. G. T., TORQUATO, J. L., SÁ FILHO, G. F., & de MACEDO COSTA, L. L. (2012) Termorregulação de bovinos em ambiente tropical: uma abordagem com ênfase nas respostas fisiológicas. **PUBVET**, Londrina, V.6, N.7, Ed. 194, Art.1301.

de CASTRO JÚNIOR, S.L., SILVA, I.J.O.D. (2021) The specific enthalpy of air as an indicator of heat stress in livestock animals. **Int J Biometeorol**. 65(2):149-161. DOI: 10.1007/s00484-020-02022-8.

DESHAZER, JA. (2009) Livestock Energetics and Thermal Environmental Management. Edited by James A. DeShazer, St. Joseph, Mich.: **ASABE**. Copyright American Society of Agricultural and Biological Engineers. ASABE, 212p.

DUCAN, I.J.H. (2019) I Animal welfare: A brief history. **Animal Welfare: from Science to Law** – ISBN 978-2-9512167-4-7.

EIGENBERG, R. A.; BROWN-BRANDL, T.; NIENABER, J. A. (2002) Development of a respiration rate monitor for swine. **Transactions of the ASAE**, v.45, n.5, p. 1599.

EIGENBERG, R. A.; HAHN, G. L.; NIENABER, J. A.; BROWN-BRANDL, T. M, & Spiers, D. E. (2000). Development of a new respiration rate monitor for cattle. **Transactions of the ASAE**, v.43, n.3, p. 723-728. DOI:10.13031/2013.2755

EIGENBERG, RA; BROWN-BRANDL, TM; NIENABER, JA; HANH, GL. (2005) Dynamics response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle. Part 2: Predictive relationships. **J. Biosystems Eng**. 91(1):111-118.

FONSÊCA, V. D. F. C., Maia, A. S. C., Saraiva, E. P., de Melo Costa, C. C., da Silva, R. G., Abdoun, K. A., ... & Fuller, A. (2019). Bio-thermal responses and heat balance of a hair coat sheep breed raised under an equatorial semi-arid environment. **Journal of thermal biology**, 84, 83-91. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2019.05.024.

FRASER D, WEARY DM, PAJOR EA, MILLIGAN BN. (1997) The scientific conception of animal welfare that reflects ethical concerns. **Animal Welfare** 6: 187-205.

FRASER, AF; BROOM, DM. (2007) Domestic animal behaviour and welfare. **CABI**. Wallingford-Oxfordshire, 4<sup>a</sup> ed. 438p.

GAUGHAN JB, BONNER S, LOXTON I, MADER TL, LISLE A, LAWRENCE R. (2010) Effect of shade on body temperature and performance of feedlot steers. **J Anim Sci** 88:4056-4067, 2010.

GAUGHAN, J. B.; et al. (2000) Respiration Rate – Is it a good measure of heat stress in cattle? Asian-Aus. **J. Anim. Sci.** 13 Supplement July C: 329-332.

HANH, G. L.; A. M. Parkhurst, and J. B. Gaughan. (1997) Cattle respiration rate as a function of Ambiental temperature. **ASABE Conference**, St Joseph, MI, Paper N. MC97-121.

HERBUT, P.; ANGRECKA, S.; WALCZAK, J. (2018) Environmental parameters to assessing of heat stress in dairy cattle – a review. **International Journal of Biometeorology** 62:2089-2097. DOI: 10.1007/s00484-018-1629-9

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **INFORMATIVO METEOROLÓGICO Nº45/2023**. Brasília, DF, Brasil. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesConvencionais> Acesso em: 13 de novembro,2023.

KARVATTE JUNIOR, N.; KLOSOWSKI, E. S.; ALMEIDA, R. G. de; MESQUITA, E. R.; OLIVEIRA, C. C. de; ALVES, F. V. (2016) Shading effect on microclimate and thermal comfort indexes in integrated crop-livestock-forest systems in the Brazilian Midwest. **International Journal of Biometeorology**, v.60, p.1-9. DOI: 10.1007/s00484-016-1180-5.

LIANG, J. B.; NOR ISMAIL, M. S. (1987) Face-mask technique as a method for estimation of heat production in cattle. **MARDI Res. Bull.** 15(2), (151-153). Livestock. In: Montreal, Quebec Canada July 13–July 16. **American Society of**

LITTELL, R. C., G. A. MILLIKEN, W. W. STROUP, R. D. WOLFINGER, and O. SCHABENBERGER. 2006. SAS for Mixed Models, Second ed. Cary, NC: **SAS Institute Inc.**

MADHUSOONDAN, A. P.; VEERASAMY, S.; RASHAMOL, V. P.; SAVITHA, S. T.; MADIAJAGAN, B.; GOVINDAN, K.; RAGHAVENDRA, B. (2019) Resilient capacity of cattle to environmental challenges-an updated review. **J Anim Behav Biometeorol** 7:104-118. DOI: 10.31893/2318-1265jabb

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.; MILAN, H. F. M. (2016) Sistema e método para medição indireta da frequência respiratória de animais. **Patente registrada. BR1020160118794.**

MAIA, A.S.C.; SILVA, R.G.; LOUREIRO, C.M.B. (2005a) 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. (2025b) 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.

MAIA, A.S.C.; MOURA, G.A.B.; FONSÊCA, V.F.C.; GEBREMEDHIN, KIFLE G. ; MILAN, HUGO M.; CHIQUITELLI NETO, M.; SIMÃO, B.R.; CAMPANELLI, V.P.C.; PACHECO, R.D.L. (2023) Economically sustainable shade design for feedlot cattle. **FRONTIERS IN VETERINARY SCIENCE**, v. 10, p. 01-16, 2023.

MELLOR, D. J. et al. (2020) “The 2020 five domains model: Including human-animal interactions in assessments of animal welfare” **Animals**, v. 10, n. 10, p 1870.

MELLOR, D. J.; REID, C. S. W. Concepts of animal well-being and predicting the impact of procedures on experimental animals. 1994.

MILAN, H. F. M.; MAIA, A. S. C.; GEBREMEDHIN, K. G. (2016) Technical note: Device for measuring respiration rate of cattle under field conditions. **Journal of Animal Science**, Volume 94, Issue 12, Pages 5434-5438. DOI: 10.2527/jas.2016-0904.

MOURA, G.A.B.; COSTA, C.C.deM.; FONSÊCA, V.F.C.; WIJFFELS, G.; CASTRO, P. A.; NETO, M.C.; MAIA, A.S.C.(2021) Are crossbred cattle (F1, Bos indicus x Bos taurus) thermally different to the purebred Bos indicus cattle under moderate conditions?. **Livestock Science**, v. 246, p. 104457.

NAKAMURA, K. MORRISON, F. (2008). A thermosensory pathway that controls body temperature. **Nat. Neurosci.** 11:62-71.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. Nutrient requirements of beef cattle: eighth revised edition. Washington, D.C.: national academy press, 2016.

NORTON, T.; BERCKMANS, D. (2023) Precision Livestock Farming: Developing Useful Tools for Livestock Farmers. In: **Encyclopedia of Smart Agriculture Technologies**. Cham: Springer International Publishing, p. 1-7.

OSTOJIĆ ANDRIĆ, D., HRISTOV, S., PETROVIĆ, M. M., PANTELIĆ, V., NIKŠIĆ, D., CARO-PETROVIĆ, V., & STANOJKOVIĆ, A. (2017). Dairy cows health parameters in different season-a welfare approach. In **Proceedings of the 11th International Symposium Modern Trends in Livestock Production**, Belgrade, Serbia, October 11-13, 2017 (pp. 268-277). Institute for Animal Husbandry, Belgrade-Zemun.

PADILLA, L.; MATSUI, T.; KAMIYA, Y.; KAMIYA, M.; TANAKA, M.; YANO, H. (2006) Heat stress decreases plasma vitamin C concentration in lactating cows. **Livest Sci** 101:300-304. DOI: 10.1016/j.livprodsci.2005.12.002

PASTELL, M.; KAIHILAHTI, J.; AISLA, A-M; HAUTALA, M.; POIKALAINEN, V.; AHOKAS, J. (2007). A system for contact-free measurement of respiration rate of dairy cows. Precision Livestock Farming 2007 – Papers Presented at the 3<sup>rd</sup> European Conference on Precision Livestock Farming.

PEEK SF, OLLIVETT TL, DIVERS TJ. Respiratory Diseases. Rebhun's Diseases of Dairy Cattle. 2018:94–167. doi: 10.1016/B978-0-323-39055-2.00004-8. **Epub** 2018 Feb 23. PMID: PMC7152286.

POLSKY, L.; VON KEYSERLINGK, M. A., 2017. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 100(11), p. 8645-8657.

SILANIKOVE, N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. **Livestock Production Science**, 67(1-2): 01- 18, 2000.

SILVA, G.A; SOUZA, B.B.; SILVA, E.M.N. Adaptabilidade de ovinos e estratégias para amenizar os efeitos do clima em regiões tropicais. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, 3(1): 20-27, 2015.

SILVA, R. G. (2000) Um modelo para a determinação do equilíbrio térmico de bovinos em ambientes tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.29, n.4. DOI: 10.1590/S1516-35982000000400039

SILVA, RG, MAIA ASC. (2013) *Principles of animal biometeorology*. New York: **Springer**, 264p.

ST-PIERRE, N. R.; COBANOV, B.; SCHNITKEY, Gary. Economic losses from heat stress by US livestock industries. **Journal of dairy science**, v.86, p.E52-E77, 2003.

STRUTZKE, S.; FISKE, D. HOFFMANN, G.; AMMON, C.; HEUWIESER, W. AMON, T. (2019) Technical note: Development of a noninvasive respiration rate sensor for cattle. **Journal of dairy science**. v102(1):690-695. DOI: 10.3168/jds.2018-14999.

VILELA, D.; de RESENDE, J. C.; LEITE, J. B.; & ALVES, E. (2017). The Evolution of milk in Brazil in five decades. **Revista de Política Agrícola**, 26(1), 5-24.

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

WIJFFELS, G.; SULLIVAN, M.; GAUGHAN, J. (2020) Methods to quantify heat stress in ruminants: Current status and future prospects. **Methods**, Volume 186, pages 3-13. ISSN 1046-2023. DOI: 10.1016/j.ymeth.2020.09.004.