

NATHIELY ZIVIANI COSTA

**UTILIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS DA AMBIÊNCIA DE
PRECISÃO EM GALPÕES DE VACAS EM LACTAÇÃO**

Botucatu

2023

NATHIELY ZIVIANI COSTA

**UTILIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS DA AMBIÊNCIA DE
PRECISÃO EM GALPÕES DE VACAS EM LACTAÇÃO**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp
Campus de Botucatu, para obtenção do
título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientadora: Sílvia Regina Lucas de
Souza

Coorientador: Vasco Manuel Fitas da
Cruz

Botucatu

2023

C837u	Costa, Nathiely Ziviani Utilização e desenvolvimento de ferramentas da ambiência de precisão em galpões de vacas em lactação / Nathiely Ziviani Costa. -- Botucatu, 2023 97 p. : il., tabs. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu Orientadora: Sílvia Regina Lucas de Souza Coorientadora: Vasco Manuel Fitas da Cruz 1. Interpolação de dados.. 2. Monitoramento do conforto térmico e bem-estar.. 3. Mastite bovina.. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

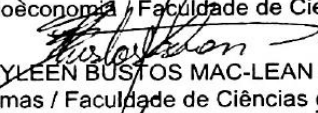
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: UTILIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS DA AMBIÊNCIA DE PRECISÃO EM GALPÕES DE VACAS EM LACTAÇÃO

AUTORA: NATHIELY ZIVIANI COSTA
ORIENTADORA: SILVIA REGINA LUCAS DE SOUZA
COORIENTADOR: VASCO MANUEL FITAS DA CRUZ

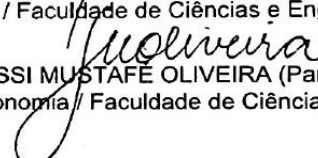
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em ENGENHEIRO AGRÍCOLA, pela Comissão Examinadora:



Prof.ª Dr.ª SILVIA REGINA LUCAS DE SOUZA (Participação Presencial)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Prof.ª Dr.ª PRISCILLA AYLEEN BUSTOS MAC-LEAN MEGNA (Participação Presencial)
Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - UNESP - Tupã/SP



Prof.ª Dr.ª KASSANDRA SUSSI MUSTAFÉ OLIVEIRA (Participação Presencial)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu

Botucatu, 27 de janeiro de 2023

À minha amada mãe, Ana Paula Médici Ziviani, minha
querida avó, Helena Maria Médici Ziviani e minha irmã,
Nathália Ziviani Costa, dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela dádiva da vida.

À minha amada mãe, Ana Paula Médici Ziviani, pelas lições de amor, companheirismo, amizade, abnegação, compreensão e dedicação ao longo desses anos. Sinto-me orgulhosa e privilegiada por ser sua filha.

À minha avó querida, Helena Maria Médici Ziviani e minha irmã, Nathália Ziviani Costa, por todo amor e apoio em tantos momentos difíceis desta caminhada. A existência de vocês é o reflexo mais perfeito da existência de Deus.

À minha família, pai, tio (a), primas e cunhado, por apoiarem e compreenderem minha trajetória.

À minha orientadora, Dr.^a Sílvia Regina Lucas de Souza, pela orientação, competência, profissionalismo e dedicação. Agradeço por acreditar em mim e pelos tantos elogios e incentivos. Para mim, sempre será mestre e amiga.

Ao coorientador, Dr. Vasco Manuel Fitas Cruz, pela oportunidade concedida para realização deste projeto e dissertação.

Aos professores, em especial ao Dr. José Carlos de Figueiredo Pantoja, pelas conversas de incentivo, apoio e todo conhecimento compartilhado. Embora o destino nos tenha traçado caminhos diferentes, o respeito e carinho permaneceram.

Aos meus amigos, vocês foram imprescindíveis para mim.

Aos produtores, que tão gentilmente aceitaram participar e colaborar com o meu sonho.

Aos funcionários e colegas do Departamento de Engenharia Rural e Socioeconomia que contribuíram, direta ou indiretamente, o meu sincero agradecimento.

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

“Ele dá força ao cansado e fortalece o que não tem vigor. Os jovens se cansarão e se fatigarão, e os moços cairão, mas os que esperam no Senhor renovarão suas forças; subirão com asas como águias; correrão e não cansarão; andarão e não se fatigarão.”

Isaías 40:29 - 31. Bíblia de Aparecida. Editora Santuário, 16ª, 2022. p.1504.

RESUMO

Os agentes climáticos influenciam no desempenho animal, exigindo o estudo e planejamento das instalações para minimizar os efeitos negativos dos fatores extrínsecos. A produtividade e saúde das vacas lactantes estão diretamente relacionadas ao conforto e bem-estar proporcionado pelas instalações. O avanço da pecuária leiteira instiga à tecnificação do sistema de produção, empregando tecnologias de precisão através dos sistemas de monitoramento por sensores e sistemas de ordenhas robotizadas (SOR). No Brasil, poucos trabalhos mensuram as interferências do macro e microclima sob os parâmetros fisiológicos, produtivos e comportamentais, mencionando o conforto e bem-estar dos animais submetidos ao SOR. Assim, os objetivos desse projeto foram: mensurar os indicadores ambientais que interferem diretamente no sistema produtivo e do bem-estar de vacas leiteiras, bem como reduzir a incidência de doenças que oneram na produção leiteira através do diagnóstico precoce e desenvolver um aplicativo para monitoramento do ambiente de instalação, propondo medidas mitigatórias frente aos diferentes níveis de estresse térmico. Para tanto, utilizou-se dois rebanhos leiteiro comercial no Estado de São Paulo. Quanto às coletas de dados ambientais, foram utilizados equipamentos com tecnologia de baixo custo. Desta forma, os dados zootécnicos necessários para a análise foram coletados diretamente dos programas de gerenciamento das propriedades participantes e submetidos a uma análise descritiva. Posteriormente, realizou-se a Análise de Variância (ANOVA) e, se necessário, o teste de *Tukey* ($p < 0,05$) utilizando o programa estatístico *Jamovi* versão 2.3.21. Os resultados dessa pesquisa poderão ser aplicados em propriedades rurais para prevenção e manejo racional das vacas em lactação submetidas ao SOR, bem como para o acompanhamento da climatização do ambiente.

Palavra-chave: zootecnia de precisão; pecuária leiteira; ordenha robotizada; bem-estar.

ABSTRACT

Climatic agents influence animal performance, requiring the study and planning of facilities to minimize the negative effects of extrinsic factors. The productivity and health of lactating cows are directly related to the comfort and well-being provided by the facilities. The advancement of dairy farming instigates the technification of the production system, using precision technologies through sensor monitoring systems and robotic milking systems (SOR). In Brazil, few works measure the interference of the macro and microclimate under the physiological, productive and behavioral parameters, mentioning the comfort and well-being of the animals submitted to SOR. Thus, the objectives of this project were: to measure the environmental indicators that directly interfere with the production system and the well-being of dairy cows, as well as to reduce the incidence of diseases that burden dairy production through early diagnosis and to develop an application to monitor the installation environment, proposing mitigation measures against different levels of thermal stress. For that, two commercial dairy herds in the State of São Paulo were used. As for the collection of environmental data, equipment with low-cost technology was used. In this way, the zootechnical data necessary for the analysis were collected directly from the management programs of the participating properties and submitted to a descriptive analysis. Subsequently, the Analysis of Variance (ANOVA) and, if necessary, the Tukey test ($p < 0.05$) were performed using the statistical program Jamovi version 2.3.21. The results of this research can be applied in rural properties for the prevention and rational management of lactating cows subjected to SOR, as well as for monitoring the climate of the environment.

Keywords: precision zootechnics; dairy farming; robotic milking; welfare.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1 – MAPEAMENTO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE SALAS DE ORDENHA POR MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO DE DADOS

Figura 1	– Consequências dos fatores intrínsecos e extrínsecos que afetam bovinos leiteiros	31
Figura 2	– Zona de sobrevivência, homeotermia e de conforto térmico de animais homeotérmicos	34
Figura 3	– A) Exemplo de área de pastejo com sombra natural; B) Exemplo de bezerreiro coletivo com sombra artificial, sombrite ...	35
Figura 4	– A) Exemplo de instalação com pista de alimentação com sistema de resfriamento por ventiladores; B) Exemplo de instalação com área de descanso com sistema de resfriamento adiabático	37
Figura 5	– <i>Datalogger</i> HOBO U12-012 para coleta das variáveis climatológicas	38
Figura 6	– Planta baixa sem escala da área experimental delimitada na fazenda comercial, Pardinho/ SP, Brasil. A área do fosso está identificada pela linha tracejada amarela e, em vermelho, a sala de espera	41
Figura 7	– Fluxograma de entrada, processamento e saída de dados no aplicativo	43
Figura 8	– Posicionamento dos dispositivos portáteis Aurora em área experimental delimitada na fazenda comercial, Pardinho/ SP, Brasil. A distância entre os sensores está em metros (m)	44
Figura 9	– Posicionamento do <i>datalogger</i> para medição das variáveis climatológicas em área experimental delimitada na fazenda comercial, Pardinho/ SP, Brasil	44
Figura 10	– Mapas de Índice de Temperatura e Umidade (ITU) criados pelo aplicativo Aurora para bovinos de leite para os períodos matutino (A) e vespertino (B) em área experimental delimitada na fazenda comercial, Pardinho/ SP, Brasil	47
Figura 11	– Mapas de Índice de Temperatura e Umidade (ITU) criados	

	pelo aplicativo Aurora para bovinos de leite das salas de espera, sendo: A) ambiente coberto e B) ambiente externo, com exposição solar	48
Figura 12	– Estatística descritiva das temperaturas: ocular (TO), retal (TR), corpórea (TSC) e de úbere (TSU) das vacas em lactação entre os meses de julho e novembro	52

CAPÍTULO 2 – APLICATIVO DE MONITORAMENTO DO CONFORTO TÉRMICO E BEM-ESTAR EM VACAS LEITEIRAS

Figura 1	– Fluxograma de informação em um sistema de automação	61
Figura 2	– Aplicativo <i>CowmFort</i> , sendo: A) tela inicial; B) tela para cálculo do índice de conforto térmico e C) informações sobre o aplicativo	67
Figura 3	– Validação do cálculo do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) para bovinos de leite, sendo: A) animal em conforto térmico; B) animal em estresse leve; C) animal em estresse moderado; D) animal em estresse severo e E) alerta de hipertermia	68

CAPÍTULO 3 – DETECÇÃO DE MASTITE BOVINA ATRAVÉS DE SENSOR DE BAIXO CUSTO

Figura 1	– A) vaca sendo identificada no portão de acesso pela leitura do microchip; B) cocho para fornecimento do concentrado	74
Figura 2	– A) higienização do teto; B) teteiras acopladas ao úbere da vaca	76
Figura 3	– Painel de controle	78
Figura 4	– Tipos de tráfego, sendo: A) fluxo livre; B) alimento primeiro; C) leite primeiro	80
Figura 5	– Dispositivo para identificação precoce de casos clínicos e subclínicos de mastite	83
Figura 6	– Dispositivo para identificação precoce de casos clínicos e subclínicos de mastite: microcontrolador	84
Figura 7	– A) Sensor de aferição e B) Sensor de aferição posicionado na	

	teteira para leitura	84
Figura 8	– Índice de Temperatura e Umidade (ITU) calculado pelo Aplicativo Orvalho®, com inserção manual dos dados de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%)	87
Figura 9	– Imagem obtida por meio da câmera de infravermelho e analisada no software IRSOFT®, com A) área de análise P1 (úbere) selecionada por meio da ferramenta “perfil de temperatura” e B) histograma com padrão de temperatura da área P1 (úbere)	88
Figura 10	– Leitura para diagnóstico precoce de mastite clínica e subclínica, sendo: A) realização da leitura e B) recebimento dos dados pelo aplicativo Termite 3.4	89
Figura 11	– Medição da temperatura superficial do úbere (TSU) com termômetro laser infravermelho OMEGA®	89
Figura 12	– Descritiva de grupo da temperatura superficial de úbere (TSU, °C) das vacas saudáveis e diagnosticadas com mastite aferidas pelo sensor	92

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 – MAPEAMENTO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE SALAS DE ORDENHA POR MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO DE DADOS

Tabela 1	– Categoria de conforto térmico para o Índice de Temperatura e Umidade (ITU)	42
Tabela 2	– Estatística descritiva das variáveis climatológicas e do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) coletas pelos <i>dataloggers</i> dos períodos matutino (5h00 às 7h30) e vespertino (14h00 às 17:30) momentos da ordenha no mês de julho	46
Tabela 3	– Estatística descritiva das variáveis climatológicas e do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) coletas pelos <i>dataloggers</i> dos períodos matutino (5h00 às 7h30) e vespertino (14h00 às 17:30) momentos da ordenha no mês de novembro	49
Tabela 4	– Estatística descritiva de grupo para o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), mínimo e máximo	50
Tabela 5	– Testes Post-Hoc de <i>Tukey</i> do Índice de Temperatura e Umidade (ITU)	50
Tabela 6	– Aferição das temperaturas: ocular, retal, corpórea e de úbere das vacas em lactação. Valor médio dos meses de julho e novembro	51
Tabela 7	– Descritiva de grupo das temperaturas: ocular, retal, corpórea e de úbere das vacas em lactação entre os meses de julho e novembro	51

CAPÍTULO 2 – APLICATIVO DE MONITORAMENTO DO CONFORTO TÉRMICO E BEM- ESTAR EM VACAS LEITEIRAS

Tabela 1	– Categoria de conforto térmico para o Índice de Temperatura e Umidade (ITU)	65
----------	--	----

CAPÍTULO 3 – DETECÇÃO DE MASTITE BOVINA ATRAVÉS DE SENSOR DE BAIXO CUSTO

Tabela 1	– Estatística descritiva dos equipamentos de aferição dos períodos matutino (7h00 às 10h30) e vespertino (14h00 às 17h30), momentos da ordenha	90
Tabela 2	– Estatística descritiva das vacas sadias e pré diagnosticadas com mastite subclínica pelo sensor, nos períodos matutino (7h00 às 10h30) e vespertino (14h00 às 17:30), momentos da ordenha	91
Tabela 3	– Teste de <i>Tukey</i> com os dados de temperatura superficial de úbere (TSU, °C) em vacas sadias e diagnosticadas com mastite subclínica	91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CFD	Computational Fluid Dynamics
IPF	Integração Pecuária-Floresta
ITU	Índice de Temperatura e Umidade
RNAs	Redes Neurais Artificiais
Rh	Umidade Relativa
SRAE	Sistema de Resfriamento Adiabático Evaporativo
SSP	Sistemas Silvopastoris
Ta	Temperatura do Ar
TIV	Termografia de Infravermelho
TSC	Temperatura de Superfície Corpórea
TSU	Temperatura Superficial de Úbere

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Grau Celsius
mm	Milímetro
%	Porcentagem
Kg	Quilos

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	27
Objetivo Geral	27
Objetivos Específicos	28
Estrutura da Dissertação	28
CAPÍTULO 1 – MAPEAMENTO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE SALAS DE ORDENHA POR MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO DE DADOS	30
1.1 Introdução	31
1.2 Revisão de Literatura	33
1.2.1 Conforto Térmico	33
1.2.2 Índices de Conforto Térmico	34
1.2.3 Climatização para Redução do Estresse Calórico	35
1.2.4 Sensores e Controladores	37
1.2.5 Utilização da Câmera Termográfica para Avaliação do Impacto das Condições Ambientais	39
1.3 Material e Métodos	41
1.3.1 Delimitação dos Campos de Pesquisa	41
1.3.2 Índice de Temperatura e Umidade	41
1.3.3 Análise Estatística	42
1.3.4 Aplicativo Aurora	42
1.3.5 Aferição das Temperaturas das Vacas em Lactação	45
1.4 Resultados e Discussão	46
1.5 Conclusões	53
Referências	54
CAPÍTULO 2 – APLICATIVO DE MONITORAMENTO DO CONFORTO TÉRMICO E BEM-ESTAR EM VACAS LEITEIRAS	58
2.1 Introdução	59
2.2 Revisão de Literatura	60
2.2.1 Automação de Sistemas	60
2.2.2 Sensores	60

2.2.3	Controladores	61
2.2.4	Comunicação	62
2.2.5	Controle do Ambiente para a Produção Animal	62
2.3	Material e Métodos	64
2.3.1	Delimitação dos Campos de Pesquisa	64
2.3.2	Software de Monitoramento	64
2.3.3	Índice de Temperatura e Umidade	64
2.3.4	Medidas Mitigatórias	65
2.4	Resultados e Discussão	67
2.5	Conclusões	71
	Referências	72
	CAPÍTULO 3 – DETECÇÃO DE MASTITE BOVINA ATRAVÉS DE SENSOR DE BAIXO CUSTO	73
3.1	Introdução	74
3.2	Revisão de Literatura	75
3.2.1	Frequência de Ordenha e Saúde Animal	75
3.2.2	Estágio de Lactação e Ordem de Parição	77
3.2.3	Taxa de Lotação e Tipo de Tráfego	78
3.2.4	Nutrição	80
3.2.5	Mastite Bovina	81
3.3	Material e Métodos	83
3.3.1	Delimitação dos Campos de Pesquisa	83
3.3.2	Dispositivo para Detecção de Mastite	83
3.3.3	Mastite: Definição de Caso	85
3.3.4	Análise Estatística	86
3.4	Resultados e Discussão	87
3.5	Conclusões	93
	Referências	94
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
	REFERÊNCIAS	98

INTRODUÇÃO GERAL

Considerando o clima tropical, o animal torna-se mais exposto aos desafios ambientais, aumentando o interesse à criação de novas ferramentas, com funções de minimizar as alterações do ambiente e impedir eventuais modificações no sistema termorregulatório, uma vez que isso afeta prontamente o sistema límbico, em especial o hipotálamo. Havendo essa alteração, a homeostase do organismo também é impactada, demandando o consumo de maior energia metabólica, diminuindo a produtividade e gerando uma queda na imunidade, o que acarreta o aparecimento de doenças no rebanho como, por exemplo, a mastite (BAÊTA e SOUZA, 2010).

Com vistas a diminuir os desafios ambientais e manter os animais em conforto térmico, verifica-se em regiões tropicais a exigência da implantação de sistemas de climatização, principalmente para vacas leiteiras em estado de lactação. Para tanto, tem-se a aplicação da ambiência de precisão, que permite um monitoramento direto na produção e a automação do processo produtivo, com maior aproveitamento da nutrição e exposição do potencial genético.

Ato contínuo, o monitoramento e controle do funcionamento do sistema físico e da manutenção da termoneutralidade animal se tornam imprescindíveis para que haja projeção da instalação. Quanto ao desenvolvimento de ferramentas e tecnologias, elas precisam atuar preventivamente nas alterações do estresse térmico, com o intuito de aumentar a produtividade e o bem-estar animal.

OBJETIVO GERAL

Mensurar os indicadores ambientais que interferem no sistema produtivo e do bem-estar animal, por meio do desenvolvimento de ferramentas relacionadas a ambiência de precisão, reduzindo a probabilidade de doenças que oneram na produção leiteira. Propor novas ferramentas de avaliação de conforto térmico e de saúde de vacas leiteiras por meio do levantamento de variáveis ambientais e temperatura superficial de úbere.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Realizar um mapeamento das condições ambientais da sala de ordenha, através de sensores de baixo custo;
- b. Desenvolver um aplicativo para monitorar o ambiente de instalação, facilitar o manejo do galpão e dos animais, além de propor medidas mitigatórias para os diferentes níveis de estresse térmico;
- c. Criar um dispositivo para identificar, de forma precoce, vacas com mastite subclínica e clínica através de sensores de baixo custo.

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Referido estudo foi escrito em tópicos e capítulos independentes para fins de publicação, de modo a propiciar um melhor entendimento para o leitor:

- ✓ Levantamento de Introdução e Estudo da Arte, referentes à área de pesquisa;
- ✓ Primeiro capítulo: "Mapeamento das condições ambientais de salas de ordenha por método de interpolação de dados", que tem por objetivo realizar um teste piloto do mapeamento das condições ambientais da sala de ordenha;
- ✓ Segundo capítulo "Aplicativo de monitoramento do conforto térmico e bem-estar de vacas leiteiras", que tem como objetivo desenvolver um aplicativo para monitorar o ambiente de instalação, facilitar o manejo do galpão e dos animais, além de propor medidas mitigatórias para os diferentes níveis de estresse térmico;
- ✓ Terceiro capítulo: "Detecção de mastite bovina através de sensor de baixo custo", que tem por objetivo criar um dispositivo para identificar, de forma

precoce, vacas com mastite subclínica e clínica através de sensores de baixo custo;

- ✓ Considerações finais.

CAPÍTULO 1

MAPEAMENTO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE SALAS DE ORDENHA POR MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO DE DADOS

RESUMO

Índices de conforto térmico são utilizados para a aferição do ambiente que os animais são criados. A aplicação de ferramentas tecnológicas, em instalações de animais de produção, favorece o serviço humano e agregam na produtividade animal, de modo que o estudo das condições ambientais facilita à compreensão e investigação dos fatores determinantes das condições de estresse térmico. Assim, o referido projeto foi elaborado com o objetivo de realizar um diagnóstico sobre o conforto térmico da sala de ordenha, através de sensores de baixo custo. Ademais, foram criados mapas da variabilidade espacial de índices de conforto térmico e de temperatura do ar, por meio do método de interpolação de dados. As variáveis climatológicas utilizadas para validação das condições ambientais das vacas, na sala de ordenha e de espera, foram medidas por sensores e *dataloggers* instalados no galpão. Por sua vez, os equipamentos foram instalados em pontos fixos equidistantes e, durante todo o período de análise, foram criados 34 mapas através do aplicativo Aurora, nos períodos matinal e vespertino, utilizando o índice de temperatura e umidade (ITU). Os dados coletados foram avaliados descritivamente e realizado a Análise de Variância (ANOVA) e, se necessário, o teste de *Tukey* ($p < 0,05$) utilizando o programa estatístico *Jamovi* 2.3.21. Foram identificados pontos críticos, com aumento dos valores das variáveis climáticas, verificados na sala de espera da área externa.

Palavras-chave: bem estar; estresse térmico; produção animal; índices de conforto térmico; dispositivos móveis.

1.1 INTRODUÇÃO

Como cediço, o ambiente externo interfere diretamente no interior das instalações no microclima gerado no interior das instalações (ALMEIDA et al., 2010) e como método avaliativo do conforto térmico, tende a minimizar perdas produtivas e econômicas no setor agropecuário. Perissinotto et al. (2009) avaliaram indicadores de bem-estar animal e verificaram uma correlação entre fatores intrínsecos e extrínsecos (Figura 1).

Figura 1- Consequências dos fatores intrínsecos e extrínsecos que afetam bovinos leiteiros

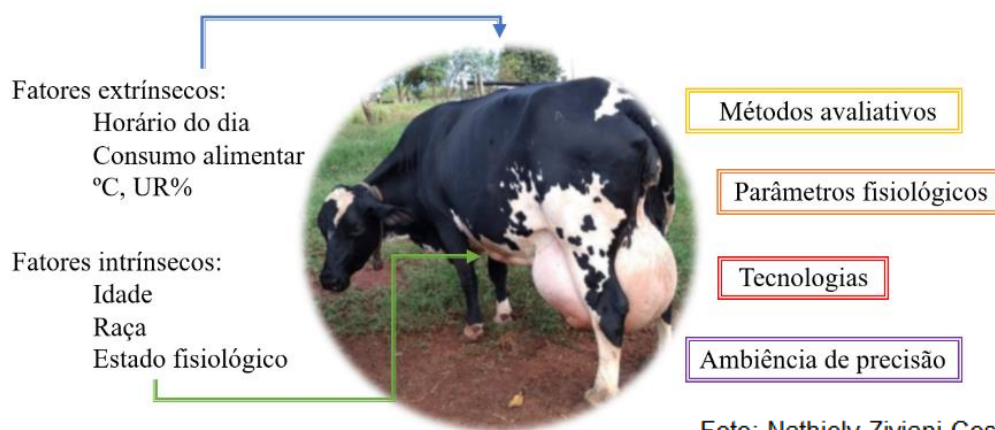


Foto: Nathiely Ziviani Costa - 2022

Em sistemas de produção animal em clima tropical, o animal torna-se mais exposto aos desafios ambientais, isso porque, o clima tem influência direta e indireta no desenvolvimento homeostático do animal. Assim, quando estes estão fora da zona de termoneutralidade, toda a energia metabólica é voltada para manutenção do núcleo do hipotálamo. Vale ressaltar, desde logo, que as principais formas de perda de calor são a vasodilatação periférica, o aumento da transpiração e frequência respiratória, fatores esses que reduzem o consumo de alimento (COLLIER, 1982).

Considerando o exposto e, principalmente, para evitar que o ambiente fique quente e cause além de desconforto nos animais homeotérmicos, uma queda na produtividade, são necessárias à implementação de medidas tecnológicas, viabilizando o manejo do rebanho e atendendo as metas de produtividade estabelecidas.

Os equipamentos implantados nas instalações animais atuam sobre o sistema pela climatização por meios artificiais. O uso de controle automatizado pode se resumir em: 1) ventilação forçada, para que haja o aumento da dissipação de ar quente por convecção e 2) nebulização ou aspersão, com ventilação junto à água para redução da temperatura interna do ar (sistema de resfriamento adiabático evaporativo - SRAE). Salienta-se que o SRAE é responsável por resfriar a temperatura ambiente através do contato com uma superfície com menor gradiente de temperatura e, referido contato com a água resfriada, pode ser intensificado por meio de ventilação mecânica, promovendo maior velocidade de troca simultânea de calor e massa. Além de promoverem o arrefecimento térmico, suas formas de climatização podem ser utilizadas para outros fins, como: umidificação, tratamento do ar, resfriamento, promovendo benefícios ao ambiente interno das instalações (DAHL et al., 2016).

Uma das técnicas de climatização mais comuns e em expansão, são os sistemas de pressão negativa associado ao uso de placas evaporativas, as quais podem ser de vários materiais, como celulose, tijolos ou materiais plásticos. Já em sistemas extensivos localizados em clima tropical, deve-se proporcionar sombras (natural ou artificial), sendo uma técnica de baixo custo que diminui o efeito direto e indireto da radiação nos animais (KARVATTE JR. et al, 2016).

Com este cenário, o objetivo deste estudo foi realizar um mapeamento das condições ambientais em instalações para produção de leite, utilizando sensores de baixo custo.

1.2 REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1 CONFORTO TÉRMICO

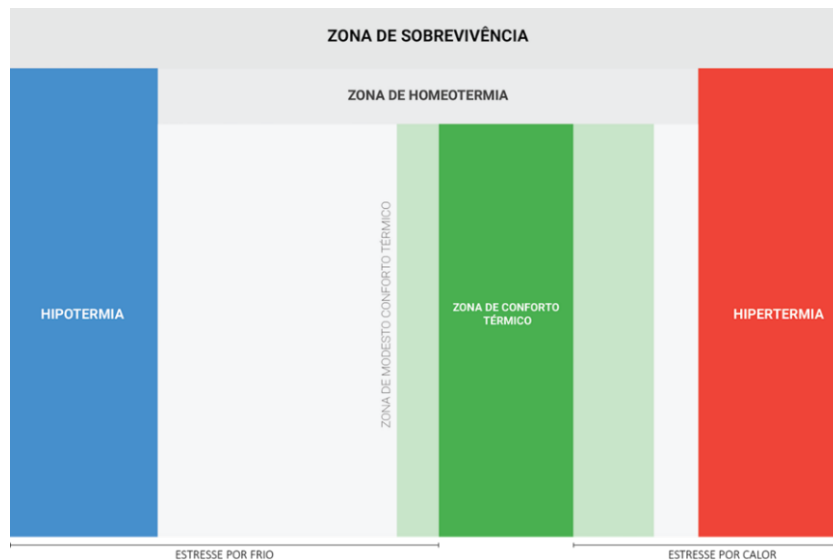
Entende-se como zona de termoneutralidade a condição em que a temperatura e umidade relativa do ar encontram-se dentro dos padrões recomendados, possibilitando que toda a energia gerada pelo animal seja destinada a expressão do melhoramento genético e nutrição, gerando assim uma melhor produtividade. (DIN et al., 2014). Pensando nisso, Lamberts e Xavier (2014) avaliaram o efeito do estresse térmico nos animais e os parâmetros necessários para o diagnóstico ambiental, visando um ambiente térmico adequado aos animais ou de pessoas (LAMBERTS e XAVIER, 2014).

Referidas análises de confortabilidade térmica são inerentes à projeção da instalação e possuem correlação entre as variáveis climáticas e a resposta produtiva (PASSINI et al., 2009; ALMEIDA et al., 2010; NAZARENO et al., 2015; HERMUCHE et al., 2013), como de seres humanos (DIN et al., 2014).

Tratando-se de termoneutralidade, cada espécie ou linhagem tem suas especificações e aclimação em relação ao clima. Segundo Baêta e Souza (2010) e Arcaro Júnior (2000), a termoneutralidade é a condição onde o animal tem toda sua energia voltada para expor seu potencial genético. E, uma vez fora da zona de conforto térmico, tanto para o frio como para o calor, os animais precisam acionar mecanismos fisiológicos para manter a temperatura do hipotálamo, gerando assim desperdício de energia; sendo que os valores recomendados das variáveis climáticas alteram de acordo com o clima e altitude (BAÊTA e SOUZA, 2010; ARCARO JÚNIOR, 2000). Entretanto, Nääs (1989) relata que os valores adequados de temperatura do ar, estão relacionadas com a umidade relativa do ar e a radiação solar direta ou indireta, motivo pelo qual recomenda como termoneutralidade para vacas em lactação temperaturas entre 7 e 21 (°C).

De modo a ilustrar, a Figura 2 apresenta quais são as zonas de sobrevivência, homeotermia e de conforto térmico delimitadas pelo estresse por frio e calor.

Figura 2 - Zona de sobrevivência, homeotermia e de conforto térmico de animais homeotérmicos



Fonte: Adaptado de BAÊTA E SOUZA, 2010.

Os efeitos do estresse térmico na produtividade animal, por estresse calórico, desencadeiam uma série de mecanismos adaptativos na tentativa de reestabelecer à homeostase e evitar um quadro de imunossupressão, incluindo alterações do sistema cardiorrespiratório, alimentação (ARCARO JÚNIOR, 2000).

1.2.2 ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO

Para a averiguação do ambiente são utilizados índices de conforto térmico, tanto para animais como para humanos, os quais consideram, por sua vez, as variáveis climáticas.

O Índice de Temperatura e Umidade (ITU), que foi adaptado de Thom (1959), é o mais usual para mensuração em ambientes destinados à produção animal (BUFFINGTON, COLLIER e CANTON, 1983). Todavia, o ideal é utilizar a equação do ITU, individualizada por espécies e clima onde habitam (BIANCA, 1962; NRC, 1971; DIKMEN e HANSEN, 2009).

1.2.3 CLIMATIZAÇÃO PARA REDUÇÃO DO ESTRESSE CALÓRICO

Alterações antropogênicas buscam reduzir o estresse por temperaturas elevadas, de modo que o animal naturalmente regula sua temperatura corpórea em relação à

termoneutralidade e alterações comportamentais. É de conhecimento que nos períodos mais quentes, onde a radiação solar aumenta, os bovinos buscam realizar o pastejo no período matutino e, ao entardecer, buscam um ambiente mais ameno (BACCARI JÚNIOR, 2001).

A Figura 3 exemplifica o sombreamento, ou seja, a forma utilizada para redução do estresse calórico proporcionando proteção ao rebanho dos extremos climáticos e repovoando as áreas de pastagens. Denota-se que a utilização do sistema silvipastoril (manejo integrado de árvores, pastagem e gado) melhora o conforto dos animais, potencializa a sustentabilidade para os produtores e para sociedade e, uma vez ausente, o produtor dispõe de materiais para sombreamento artificial por telas de prolipropileno chamadas “sombrites”, as quais absorvem e reduzem os efeitos da radiação solar que atingem o animal. Esses “sombrites” variam de 30 a 90% de intercepção, sendo mais comum o uso de material de polipropileno com 80% de sombreamento (FONSECA, 2010).

Figura 3 (A; B) - A) Exemplo de área de pastejo com sombra natural; B) Exemplo de bezerreiro coletivo com sombra artificial, sombrite

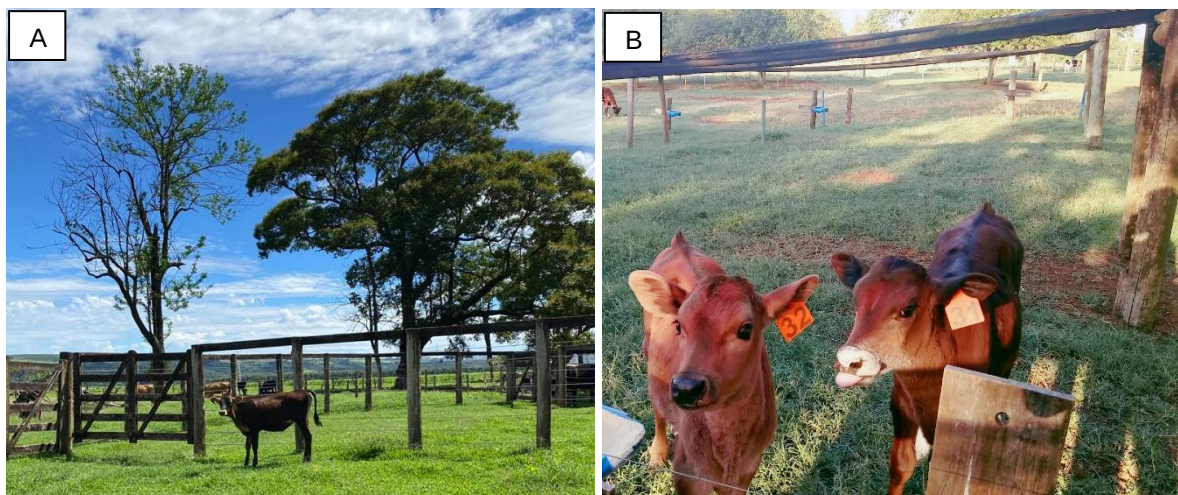


Foto: Nathiely Ziviani Costa - 2022

A orientação das instalações interfere na dinâmica da transmissão de calor e na efetividade da sombra, visto que na disposição Leste-Oeste os animais possuem maior área de sombra no período do verão que na orientação Norte-Sul. Desta forma, o material da construção e a cor também são importantes, uma vez que cores mais claras apresentam maior refletividade e, cores mais escuras, maior

transmissividade. Já se o material for opaco, haverá uma parcela absorvida e outra refletiva, enquanto no material transparente ou translúcido, haverá também uma parcela transmitida diretamente para o ambiente interior.

Conceição (2008) avaliou materiais para sombreamento (telhas de fibrocimento sem cimento amianto e telhas galvanizadas) e sombreamento flexível, utilizando-se de tela de polipropileno com proteção solar e quais seriam, conseqüentemente, os efeitos do não sombreamento sobre os animais. Verificou, ainda, o efeito benéfico da qualidade da sombra produzida nos horários mais quentes do dia e as reduções na carga térmica radiante de 12,3; 9,6 e 7,2% para as telhas de fibrocimento, galvanizadas e tela de polipropileno, em relação ao tratamento sem sombra, respectivamente.

A associação do uso de sombra com ventilação ou aspersão mostrou-se eficaz em instalações de bovinos de leite, proporcionando um maior conforto térmico (NÄÄS; ARCARO JÚNIOR, 2001). Em vacas da raça Jersey o uso do sistema adiabático evaporativo promoveu um aumento de 19% na produção de leite, em comparação a uma instalação sem climatização. De acordo com Silva et al. (2002), a climatização efetuada por nebulização na pré-ordenha promoveu um aumento de 7,28% da produção de leite e alterações positivas na homeostase animal. Na Figura 4 é exemplificado uma pista de alimentação com sistema de resfriamento por ventiladores e uma área de descanso com sistema de resfriamento adiabático.

Figura 4 (A; B) - A) Exemplo de instalação com pista de alimentação com sistema de resfriamento por ventiladores; B) Exemplo de instalação com área de descanso com sistema de resfriamento adiabático



Foto: Nathiely Ziviani Costa - 2022

1.2.4 SENSORES E CONTROLADORES

Condições de conforto estão relacionados à aplicação de novos conceitos, automação, controle e precisão do sistema de produção. A ambiência de precisão permite ao produtor um melhor controle e rigor em suas tomadas de decisões, certificando o conforto térmico, bem-estar animal e a otimização dos custos com a produção.

Para tanto, o sistema engloba processos eletrônicos de coleta, monitoramento e administração das informações referentes à produção, usando-se de técnicas de engenharia para avaliar e projetar melhorias no ambiente de produção, bem como integrando modelos preditivos, modelagens para extração do conhecimento e simulações de sistemas de climatização. O sistema de coleta de registro de dados, armazenamento e processamento é feito por sensores, atuadores e controladores que realizam a comunicação das ações.

Quanto aos sensores de temperatura e umidade, estes são utilizados juntamente à geoestatística, projetados no galpão de alojamento para os cálculos dos índices e mensuração do conforto térmico (FATEHNIA et al., 2016). Ademais, existem técnicas computacionais denominadas de Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD – *Computational Fluid Dynamics*) que apresentam modelagem para redução de problemas de trocas gasosas, estabelecendo um ambiente adequado à produção em relação à qualidade do ar (MOURA e CARVALHO CURI, 2017).

Para além dos citados, estabeleceram também um modelo matemático conhecido por Redes Neurais Artificiais (RNAs), onde sua aplicação nos permite prever o peso final e bonificação dos bovinos, induzir o afileamento de eucalipto em integrados e classificar animais por categorias de conforto térmico (MOURA e CARVALHO CURI, 2017). Há, ainda, os controladores Arduíno, que também auxiliam na mensuração dos ambientes (Figura 5) e, uma vez programados, interagem com programas computacionais e aplicativos móveis carregando informações para o cálculo dos índices de conforto, predizendo os indicadores de estresse térmico de um animal.

A temperatura de superfície corpórea (TSC), que será medida sob o auxílio da termografia infravermelha, constitui-se em um importante indicador da tolerância ao calor dos animais e sua aferição nos permite, de forma eficiente, mensurar atividade metabólica, avaliar a direção e intensidade do calor, detectando precocemente novos casos de mastite bovina (MAIOCHI et al., 2019; MASSOTE et al., 2019).

Figura 5 - Datalogger HOBO U12-012 para coleta das variáveis climatológicas



Foto: Nathiely Ziviani Costa - 2022

1.2.5 UTILIZAÇÃO DA CÂMERA TERMOGRÁFICA PARA AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS

A termografia de infravermelho (TIV) é caracterizada por ser uma técnica não invasiva de mapeamento térmico de um corpo, pela emissão da radiação infravermelha emitida pela superfície de um animal.

A técnica é baseada no princípio de que todos os corpos compostos de matéria emitem carga radiante, proporcional a sua temperatura. Esta radiação é mensurada em um termograma que expressa o gradiente térmico em um padrão de cores (EDDY et al., 2001).

A análise quantitativa e a interpretação de imagens auxiliam nas decisões de conforto e bem-estar animal, sem a necessidade de contenção e de forma rápida. As emissões estão diretamente relacionadas à perfusão e metabolismo dos tecidos e as variações na temperatura da superfície ocorrem pela mudança da irrigação sanguínea, do metabolismo e da evaporação pelo suor da área avaliada. O diagnóstico de uma inflamação é possível pela alteração da circulação sanguínea normal e consequentemente o aumento da emissão de radiação do local afetado, qualificando os estágios fisiológicos de saúde dos tecidos e as oscilações frente aos fatores externos (WALDSMITH e OLTMANN, 1994).

O calor é um sintoma de inflamação e por intermédio desse método, é possível diagnosticar um processo inflamatório antes mesmo que os sinais clínicos se tornem evidentes (GAVRILA, 1999). Segundo Brioschi et al. (2003), a termometria cutânea por imagem infravermelha é o meio mais eficaz para avaliação da microcirculação da pele e que, indiretamente, avalia o sistema nervoso autônomo simpático.

Hovinen et al. (2008) e Polat et al. (2010) utilizaram a técnica para diagnóstico de mastite bovina, estudando a relação direta entre a temperatura superficial das glândulas mamárias e a ocorrência da doença, notando uma elevação da temperatura superficial nos quartos onde haviam mastite. A TIV auxilia na percepção e localização de problemas no grau de comprometimento de tecidos.

No âmbito do conforto térmico, a TIV também pode ser aplicada para avaliar a qualidade dos diferentes tipos de materiais e instalações utilizados na produção animal. Fiorelli et al. (2012), comparou a eficiência térmica de diferentes coberturas (telha de fibrocimento pintada de branco, telha de fibrocimento sem pintura e telha de fibrocimento com tela de sombreamento) de bezerreiros individuais expostos ao sol e à sombra, por intermédio da termografia e do cálculo dos índices de conforto térmico, afirmaram que a técnica se mostrou uma ferramenta facilitadora da identificação de diferenças significativas de temperatura de superfície de cobertura da instalação.

1.3 MATERIAL E MÉTODOS

1.3.1 DELIMITAÇÃO DOS CAMPOS DE PESQUISA

A construção dos mapas de distribuição espacial dos índices de conforto térmico e das variáveis meteorológicas foram validados nas instalações da Faculdade de Ciências Agrônômicas - FCA, UNESP, Botucatu - SP e, posteriormente, foram utilizados em um rebanho comercial na cidade de Pardinho, no estado de São Paulo.

A seguir, é apresentada uma planta baixa da área experimental delimitada na fazenda comercial em Pardinho/ SP, Brasil, localizada a uma latitude 23°04'52" Sul, longitude 48°22'25" Oeste e altitude de 1007,63m. O clima da região é tropical de altitude, tipo Cwb, os invernos são semi-secos e relativamente frios e a primavera com períodos mais secos e quentes. Infere-se que a área do fosso está representada pelas linhas tracejadas amarela e, em vermelho, a sala de espera (Figura 6). A orientação do galpão, por sua vez, respeita o sentido Leste-Oeste.

Figura 6 - Planta baixa sem escala da área experimental delimitada na fazenda comercial, Pardinho/ SP, Brasil. A área do fosso está identificada pela linha tracejada amarela e, em vermelho, a sala de espera

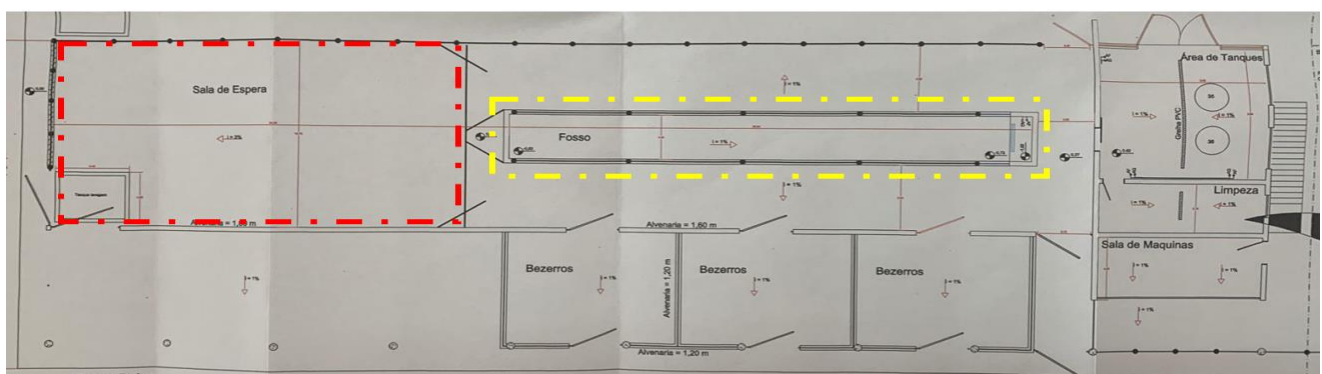


Foto: Nathieli Ziviani Costa - 2022

1.3.2 ÍNDICE DE TEMPERATURA E UMIDADE

Utilizou-se o Índice de Temperatura e Umidade - ITU (Equação 1) à análise do conforto térmico no interior de instalações (VITALI et al., 2009).

$$ITU = (1,8T_a + 32) - 0,55 \left(1 - \frac{RH}{100}\right)(1,8T_a - 26) \quad (1)$$

Em que T_a é a temperatura do ar (°C) e RH a umidade relativa (%).

As categorias de conforto térmico para o índice ITU em bovinos de leite (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2018), apresenta-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Categoria de conforto térmico para o Índice de Temperatura e Umidade (ITU)

Categorias de conforto térmico para bovinos de leite			
ITU			
Conforto térmico			ITU < 72
Estresse pelo calor (leve)			72 ≤ ITU < 79
Estresse pelo calor (moderado)			79 ≤ ITU < 89
Estresse pelo calor (severo)			89 ≤ ITU < 98

Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR et al. (2018, p.176).

1.3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

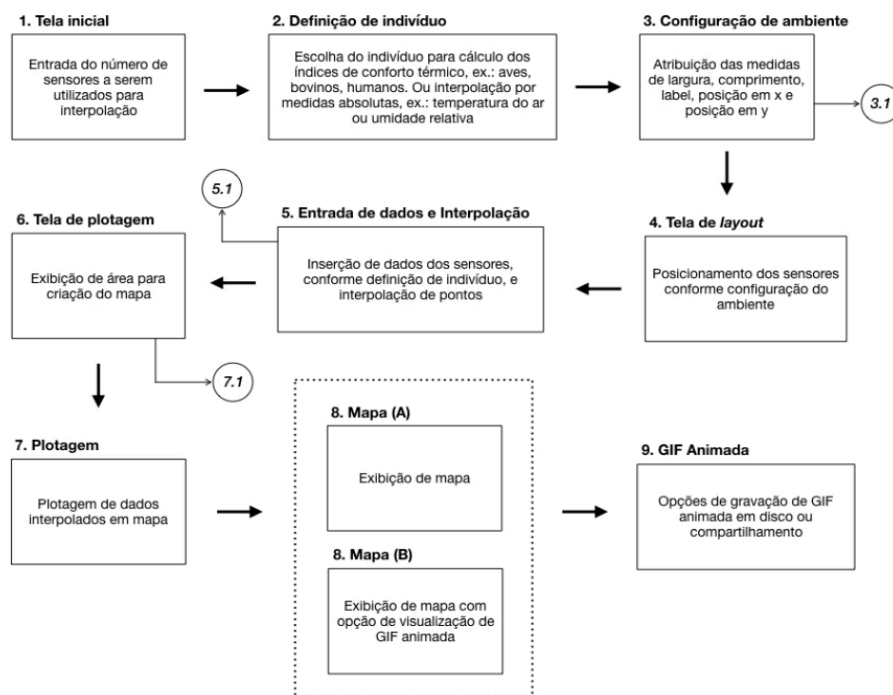
Os dados foram submetidos à análise da estatística descritiva, de variância – ANOVA (com um fator) e, quando necessário, realizou-se o teste de *Tukey* ($p < 0,05$), utilizando o programa estatístico *Jamovi* versão 2.3.21.

1.3.4 APLICATIVO AURORA

O aplicativo Aurora foi desenvolvido por Oliveira Júnior (2018) para o sistema operacional *Android* 8.0, sendo que a metodologia de processamento de interpolação de dados e plotagem dos mapas foram realizados mediante prévia configuração da disposição pelo autor, alimentando com os pontos conhecidos, o que possibilitou a projeção da malha de pontos a ser criada. Desta forma, a partir dos parâmetros climáticos, logo após à interpolação, o mapa que representa a condição térmica do ambiente foi criado em perspectiva de índices de conforto

térmico (OLIVEIRA JÚNIOR, 2018). Na Figura 7, é apresentado o fluxograma de entrada, processamento e saída de dados no aplicativo.

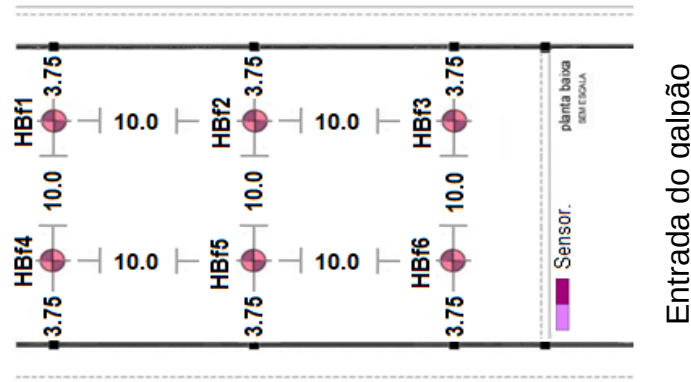
Figura 7 - Fluxograma de entrada, processamento e saída de dados no aplicativo



Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR et al. (2018, p.99).

As temperaturas e umidades relativas do ar usadas para validação das condições ambientais das vacas na sala de ordenha e de espera foram aferidas por meio de *dataloggers* HOBO U12-012 (Onset). Na ocasião, os sensores foram instalados em pontos fixos equidistantes, sendo seis na sala de ordenha (Figura 8) e um posicionado na sala de espera. As áreas foram predefinidas e seguiram o mesmo tempo de coleta de dados, em um intervalo de 15 a 60 segundos.

Figura 8 - Posicionamento dos dispositivos portáteis Aurora em área experimental delimitada na fazenda comercial, Pardinho/ SP, Brasil. A distância entre os sensores está em metros (m)



Fonte: Adaptado de OLIVEIRA JÚNIOR (2018).

No que concerne os dados das variáveis climatológicas de temperatura do ar e umidade relativa do ar, estes foram coletados pelo método dispositivo remoto, seus valores foram agrupados em listas e sua média fornecida para determinação do ITU. Na Figura 9, ilustra-se um *datalogger* posicionado na sala de ordenha.

Figura 9 - Posicionamento do *datalogger* para medição das variáveis climatológicas em área experimental delimitada na fazenda comercial, Pardinho/ SP, Brasil



Foto: Nathiely Ziviani Costa - 2022

Por último, mas não menos importante, o processamento de transmissão dos dados climatológicos foi realizado mediante a tecnologia *Bluetooth*, enviando automaticamente para o aplicativo instalado no dispositivo móvel.

1.3.5 AFERIÇÃO DAS TEMPERATURAS DAS VACAS EM LACTAÇÃO

Utilizou a câmera termográfica 4800 pixels (Flir® modelo TG165-X) para detecção das temperaturas superficiais de diferentes regiões do corpo em substituição aos métodos convencionais, como termômetros digitais, considerados invasivos.

Como ferramenta auxiliar na identificação das condições ambientais sobre o bem-estar animal, as vacas em lactação tiveram suas temperaturas aferidas nos meses de julho (inverno) e novembro (primavera). A captura de imagens foi realizada a distância de um metro entre a câmera e o animal e a sequência de captura das imagens ocorreu na mesma ordem para todos os animais em áreas do corpo: globo ocular (GEORGE et al., 2014), flanco direito e esquerdo (METZNER et al., 2014), retal e glândula mamária (áreas lateral e caudal), sendo Talukder et al. (2014).

As imagens termográficas das áreas do corpo foram capturadas em áreas limpas e sem incidência direta de luz solar, com o foco emissor da câmera direcionado perpendicularmente às regiões anatômicas examinadas. Os termogramas foram processados pelo programa computacional *Testo IRTSoft 4.8*.

1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os extremos climáticos, verifica-se que as ondas de calor causam grandes perdas econômicas e produtivas, de modo que os dados das variáveis climatológicas de temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) foram coletados nos meses de julho (inverno) e novembro (primavera), realizando-se, inicialmente, a análise da estatística descritiva (Tabela 2).

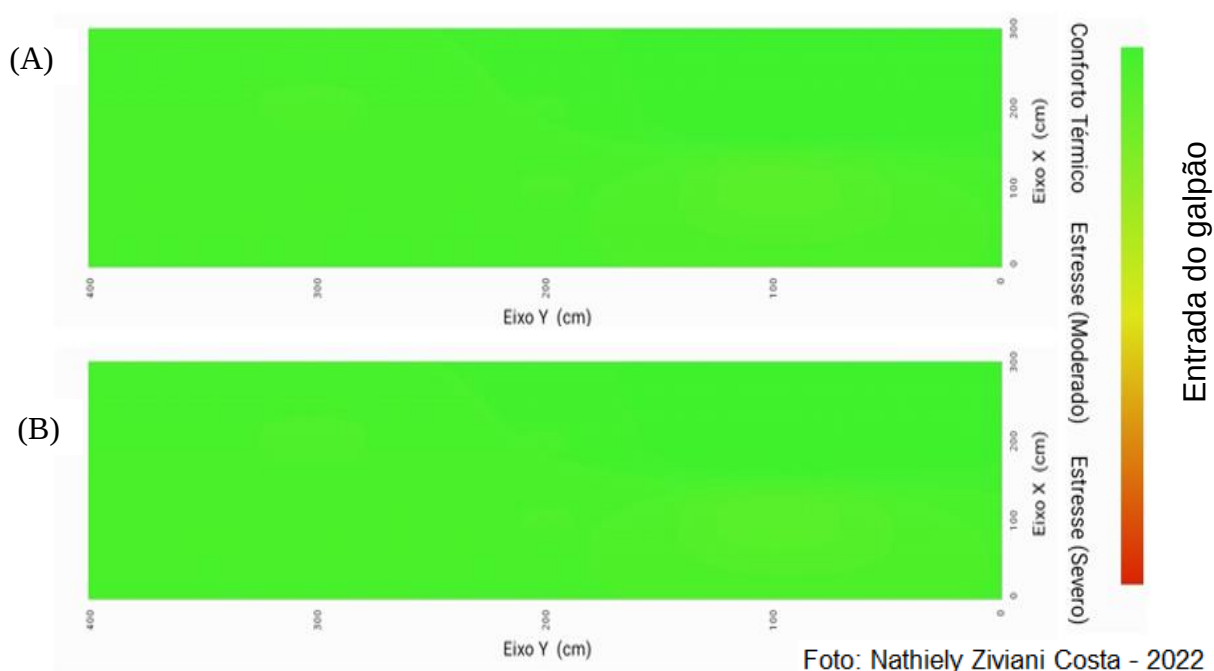
Tabela 2 – Estatística descritiva das variáveis climatológicas e do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) coletas pelos *dataloggers* dos períodos matutino (5h00 às 7h30) e vespertino (14h00 às 17:30), momentos da ordenha no mês de julho

Medidas	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Umidade Mínima (%)	Umidade Máxima (%)	ITU Mínimo	ITU Máximo
Média	16,6	22,50	74,30	55,70	61,20	68,80
	16,5	22,60	51,00	54,30	60,70	68,90
	16,4	22,60	76,10	56,50	61,00	69,00
	16,3	22,60	78,40	57,60	60,90	69,10
	16,2	22,50	68,40	52,60	60,60	68,60
	16,4	23,10	75,00	54,50	60,90	69,50
Desvio- padrão (±)	1,51	1,72	9,02	10,20	2,27	1,87
	1,38	1,68	24,90	6,95	1,79	1,93
	1,65	1,77	9,69	10,50	2,52	1,94
	1,53	1,68	11,50	10,40	2,39	1,83
	1,59	1,75	5,03	9,72	2,31	1,87
	1,66	1,89	9,24	10,10	2,53	2,05
Período matutino	14,5	18,40	62,30	44,50	58,10	64,30
	14,7	18,70	13,70	44,30	58,30	64,30
	14,2	18,40	62,80	45,60	57,60	64,40
	14,5	18,60	63,10	46,90	58,10	64,70
	14,2	18,50	60,20	42,00	57,60	64,30
	14,4	18,70	61,40	43,50	58,00	64,70
Período vespertino	18,5	24,50	84,60	79,80	64,60	70,60
	18,2	24,70	72,00	67,90	63,20	70,80
	18,7	24,70	88,40	81,40	65,00	71,00
	18,5	24,60	92,80	82,30	64,90	71,00
	18,4	24,90	74,80	74,90	64,00	70,80
	18,9	25,50	85,70	78,30	65,20	71,70

Fonte: Autoria própria.

Os resultados obtidos pelo aplicativo Aurora (Figura 10) são mostrados em mapas de temperatura do ar (°C), confeccionados a partir do período matutino (5h00 às 7h30) e vespertino (14h00 às 17h30), no momento da ordenha.

Figura 10 (A; B) - Mapas de Índice de Temperatura e Umidade (ITU) criados pelo aplicativo Aurora para bovinos de leite para os períodos matutino (A) e vespertino (B) em área experimental delimitada na fazenda comercial, Pardinho/ SP, Brasil



A partir da visualização dos mapas, denota-se uma homogeneidade no interior da instalação para o índice ITU de bovinos de leite. Nessa senda, o mapeamento das variáveis climáticas na instalação proporciona maior facilidade na verificação do bem-estar das vacas leiteiras, possibilitando ao produtor uma tomada de decisão mais assertiva de manejo dentro da instalação, principalmente se considerarmos que a partir do índice ITU são apresentados os mapas de conforto térmico das salas de espera.

Figura 11 (A; B) - Mapas de Índice de Temperatura e Umidade (ITU) criados pelo aplicativo Aurora para bovinos de leite das salas de espera, sendo: A) ambiente coberto e B) ambiente externo, com exposição solar

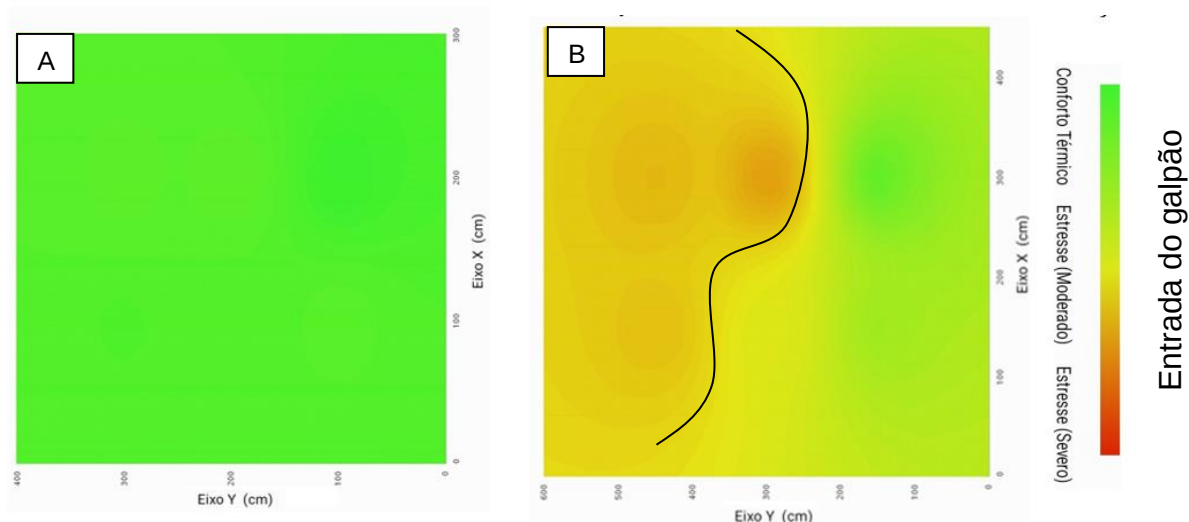


Foto: Nathiely Ziviani Costa - 2022

As condições térmicas da Figura 11 B demonstraram condições de desconforto térmico (em destaque), sendo uma área descoberta com forte incidência solar e ausência de sombra natural e sombrite. De acordo com os mapas de temperatura, as medidas atingiram os 23,6°C, com umidade relativa de 53,75%.

Entre a quarta e terceira semana analisadas, houve um acréscimo da temperatura externa da região de, aproximadamente, 4°C e redução de 8% da umidade relativa. Percebe-se que apenas no período matutino as recomendações para T_a estavam de acordo com o recomendado por Nääs (1989), mas com umidades relativas dentro do recomendado na maioria das vezes, próximas a 65%.

Os dados das variáveis climatológicas foram coletados novamente no mês de novembro, obtendo os valores médios, desvio-padrão, mínima e máxima pela análise descritiva dos dados coletados para comparação com os valores obtidos no mês de julho (Tabela 3).

Tabela 3 - Estatística descritiva das variáveis climatológicas e do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) coletas pelos *dataloggers* dos períodos matutino (5h00 às 7h30) e vespertino (14h00 às 17:30), momentos da ordenha no mês de novembro

Medidas	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Umidade Mínima (%)	Umidade Máxima (%)	ITU Mínimo	ITU Máximo
Média	18,20	25,90	76,90	57,60	63,90	73,80
	18,00	25,90	51,60	53,50	62,80	73,40
	18,40	26,00	78,50	60,10	64,30	74,30
	18,20	25,80	80,10	60,90	64,00	74,00
	18,10	26,30	70,30	55,10	63,50	73,90
	18,40	26,20	73,80	57,00	64,10	74,10
	18,80	26,00	77,80	53,10	64,90	73,40
Desvio- padrão (±)	1,90	1,43	8,11	9,58	2,97	1,80
	1,87	1,49	17,60	6,55	2,87	2,48
	1,76	1,40	8,18	9,23	2,77	1,81
	1,83	1,46	9,02	9,96	2,91	1,86
	1,83	1,55	5,25	8,13	2,80	1,98
	1,81	1,44	7,14	8,09	2,79	1,83
	2,00	2,22	9,45	4,99	3,25	3,06
Período matutino	15,00	22,80	60,50	45,40	58,90	71,20
	15,00	22,50	13,70	41,60	58,70	67,80
	15,40	22,80	61,40	47,60	59,60	71,60
	15,10	22,60	63,20	49,80	59,00	71,40
	15,10	22,60	58,50	43,90	58,90	70,40
	15,20	22,80	60,00	46,00	59,20	71,00
	15,30	20,20	56,80	45,00	59,30	65,50
Período vespertino	21,40	27,90	83,80	80,90	68,90	76,30
	21,30	27,90	69,20	63,00	68,20	76,40
	21,40	28,00	86,00	82,40	68,90	76,90
	21,10	27,70	89,80	85,90	68,70	76,60
	21,10	28,20	74,90	73,20	68,20	76,60
	21,20	28,50	83,40	75,00	68,50	77,00
	22,30	28,10	84,50	62,20	70,80	76,40

Fonte: Autoria própria.

A partir da estatística descritiva (Tabela 3) é possível observar o aumento dos valores das variáveis ambientais, sendo o período vespertino sempre acima do recomendado (NÄÄS, 1989). De acordo com a mencionada tabela, houve em relação ao mês de julho uma elevação média de aproximadamente 4°C para o período vespertino e, uma redução de 3% da umidade relativa, refletindo negativamente nos valores de ITU.

Na análise descritiva de grupo, nota-se uma variação em média de 3 e 4,8 para o índice ITU nos respectivos períodos, matutino e vespertino (Tabela 4). Se tratando de vacas de alta produção, o aumento dos valores no período vespertino proporcionou condições próximas do estresse térmico leve.

Tabela 4 - Estatística descritiva de grupo para o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), mínimo e máximo

Índice	Mês	Temperatura Média (°C)	Desvio-padrão ($\pm$)
ITU Mínimo	Julho	60.9	2.21
	Novembro	63.9	2.86
ITU Máximo	Julho	69.0	1.84
	Novembro	73.8	2.10

Fonte: Autoria própria.

Ocorre que após a realização da ANOVA, verificou-se, para o mês de novembro (primavera) o p Valor < 0,05. Desta forma, para verificar as diferenças entre as médias, realizou-se o Teste de *Tukey* (0,05) tanto para o ITU mínimo e máximo (Tabela 5).

Tabela 5 - Testes Post-Hoc de *Tukey* do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) em galpões de vacas leiteiras

		Análise	Julho	Novembro
ITU Mínimo	Julho	Diferença média	—	-3.03
		p-valor	—	< .001
	Novembro	Diferença média		—
		p-valor		—
ITU Máximo	Julho	Diferença média	—	-4.86
		p-valor	—	< .001
	Novembro	Diferença média		—
		p-valor		—
Nota: p < .05 entre as linhas: diferença significativa				
ITU mínimo: F=42.6 e ITU máximo: F=187.1				

Fonte: Autoria própria.

A partir das medidas analisadas e, principalmente, da importância de se controlar as condições do microclima inseridas no galpão, os animais em lactação tiveram suas temperaturas aferidas nos dois meses, com o escopo de verificar a interferência do ambiente no dia a dia (Tabela 6).

Tabela 6 - Aferição das temperaturas: ocular, retal, corpórea e de úbere das vacas em lactação. Valor médio dos meses de julho e novembro

Medidas	Locais de Temperatura	Temperatura Média (°C)
Média	Temperatura Ocular	34,4
	Temperatura Retal	34,1
	Temperatura Corpórea	33,9
	Temperatura de Úbere	34,9
Desvio-padrão (±)	Temperatura Ocular	1,21
	Temperatura Retal	1,27
	Temperatura Corpórea	1,18
	Temperatura de Úbere	1,3
Julho	Temperatura Ocular	31,1
	Temperatura Retal	30,0
	Temperatura Corpórea	30,3
	Temperatura de Úbere	30,1
Novembro	Temperatura Ocular	36,8
	Temperatura Retal	36,9
	Temperatura Corpórea	36,9
	Temperatura de Úbere	38,1

Fonte: Autoria própria.

No mês de novembro, se comparado a julho, os animais apresentaram elevação da temperatura média corpórea em aproximadamente 3,9°C (Tabela 7), corroborando com Berry et al. (2013) que relataram correlações positivas entre as temperaturas mensuradas com termografia nos animais e a temperatura ambiente entre estações do ano.

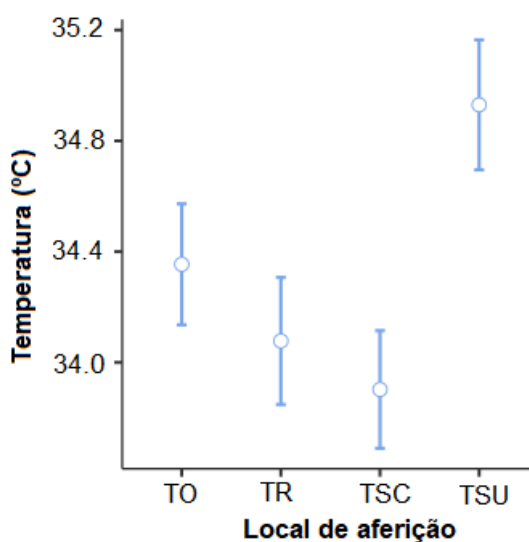
Tabela 7 - Descritiva de grupo das temperaturas: ocular, retal, corpórea e de úbere das vacas em lactação entre os meses de julho e novembro

Mês	Locais de Temperatura	Temperatura (°C)	Desvio-padrão (±)
Julho	Temperatura Ocular	34,20	1,21
	Temperatura Retal	33,90	1,28
	Temperatura Corpórea	32,00	1,25
	Temperatura de Úbere	34,60	1,41
Novembro	Temperatura Ocular	34,50	1,21
	Temperatura Retal	34,20	1,27
	Temperatura Corpórea	35,90	1,77
	Temperatura de Úbere	35,30	1,31

Fonte: Autoria própria.

Percebe-se, na Figura 12, que a temperatura superficial do úbere aumentou no mês de novembro em aproximadamente 2°C, oscilando de acordo com o estágio de lactação da vaca e sendo maior em vacas recém-parida. A validação da temperatura do globo ocular como uma aceitável e precisa medida da temperatura retal foi descrita como medida fidedigna da temperatura corpórea por Melero et al. (2015), concordando com os valores obtidos no presente estudo.

Figura 12 - Estatística descritiva das temperaturas: ocular (TO), retal (TR), corpórea (TSC) e de úbere (TSU) das vacas em lactação entre os meses de julho e novembro



Fonte: Autoria própria.

Para as regiões de úbere lateral e caudal os resultados foram similares aos obtidos por Schaefer et al. (2012) e Okada et al. (2013), revelando que animais prenhes e de maior produção apresentaram temperatura mais alta por possuírem maior concentração de progesterona na corrente sanguínea, tendo esse hormônio ação termogênica.

1.5 CONCLUSÕES

Analisando o conteúdo apresentado no capítulo, conclui-se que o mapeamento das instalações apresentou uma visão mais precisa do bem-estar das vacas, identificando regiões com condições de conforto térmico e desconforto parcial.

No mês de novembro, se comparado a julho, notar-se-á que os animais apresentaram elevação média de temperatura corpórea de aproximadamente 4°C e de 2°C para temperatura superficial de úbere, evidenciando o aumento das variáveis climatológicas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, G. L. P.; PANDORFI, H.; GUISELINI, C.; ALMEIDA, G. A. P.; MORRIL, W. B. B. Investimento em climatização na pré-ordenha de vacas girolando e seus efeitos na produção de leite. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 14, n. 12, p.1337-1344, 2010.
- ARCARO JÚNIOR, I. Avaliação da Influência de Ventilação e Aspersão em Coberturas de Sombrite para Vacas em Lactação. 2000. 94 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- BACCARI JÚNIOR, F. Manejo ambiental da vaca leiteira em climas quentes. Editora UEL. Londrina. 2001. 142p.
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. Ambiência em edificações rurais – conforto animal. Universidade federal de Viçosa, 2010.
- BERRY, R.J.; KENNEDY, A.D.; SCOTT, S.L.; KYLE, B.L.; SCHAEFER, A.L. Early detection of mastitis using infrared thermography in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 91, 4244-4248, 2013.
- BIANCA, W. 1962. Relative importance of dry- and wet-bulb temperatures in causing heat stress in cattle. *Nature* 195:251–252.
- BRIOSCHI, M.L. Macedo JF, Macedo RAC (2003) Termografia cutânea: novos conceitos. *Revista Vascular Brasileira* 2:151-160.
- BUFFINGTON, D. E.; COLLIER, R.J.; CANTON, G.H. Shade management systems to reduce heat stress for dairy cows in hot, humid climates. *Trans. ASAE* 26, 1798–1802, 1983.
- COLLIER, R.J. Effects of heat stress during pregnancy on maternal hormone concentration, calf birth weight and postpartum milk yield of holsteins cows. *Journal of Dairy Science*, v.54, p.309-319, 1982.
- CONCEIÇÃO, M. N. Avaliação da influência do sombreamento artificial no desenvolvimento de novilhas em pastagens. 2008. 137f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2008.
- DAHL, G. E.; TAO, S.; MONTEIRO, A. P. A. Effects of late-gestation heat stress on immunity and performance of calves 1. *Journal of Dairy Science*, v. 99, n. 4, p. 3193–3198, 2016.
- DIKMEN, S.; HANSEN, P. J. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal Of Dairy Science*, New York, v. 92, n. 1, p.109-116, jan. 2009.

DIN, M. F. M.; LEE, Y. Y.; PONRAJ, M.; OSSEN, D. R.; IWAOKI, K.; CHELLIAPAN, S. Thermal comfort of various building layouts with a proposed discomfort index range for tropical climate. *Journal Of Thermal Biology*, v. 41, p.6-15, 4 fev. 2014.

EDDY, A.L. Vanhoogmoed LM, Snyder JR (2001) The Role of Thermography in the Management of Equine Lameness. *Veterinary of Journal*, 162:172-181.

FATEHNIA, M.; PARAN, S.; KISH, S.; TAWFIQ, K. Automating double ring infiltrometer with an Arduino microcontroller. *Geoderma*, Amsterdam, v. 262, p.133-139, jan. 2016. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.08.022

FIORELLI, J.; SCHMIDT, R.; KAWABATA, C.Y.; OLIVEIRA, C.; SAVASTANO JUNIOR, H.; ROSSIGNOLO, J.A. Eficiência térmica de telhas onduladas de fibrocimento aplicadas em abrigos individuais para bezerros expostos ao sol e à sombra. *Ciência Rural*. 42:64-67, 2012.

FONSECA, P. C. F. Efeito do manejo de cobertura sobre índices de conforto térmico, variáveis fisiológicas e desempenho de bezerros leiteiros. 2010. Anápolis, 67f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Sistemas Agroindustriais) – Universidade Estadual de Goiás.

GAVRILA, D. A análise visual do movimento humano: pesquisa, visão computacional e compreensão de imagem. *Artigos de Ciência Veterinária*, 13: 82-98, 1999.

GEORGE, W.D.; GODFREY, R.W.; KETRING, R.C.; VINSON, M.C.; WILLARD, S.T. Relationship among eye and muzzle temperatures measured using digital infrared thermal imaging and vaginal and rectal temperatures in hair sheep and cattle. *Journal of Animal Science*, 92, 4949-4955, 2014.

HERMUCHE, P.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JR, O. A.; GOMES, R. A. T.; PAIVA, S. R.; McMANUS, C. M. Environmental factors that affect sheep production in Brazil. *Applied Geography*, Oxford, v. 44, p.172-181, 2013.

HOVINEN, M.; SIIVONEN, J.; TAPONEN, S.; HÄNNINEN, L.; PASTELL, M.; AISLA, A. M.; PYÖRÄLÄ, S. Detection of Clinical Mastitis with the Help of a Thermal Camera. *Journal of Dairy Science* 91:4592- 4598, 2008.

KARVATTE JR., N.J.; ALVES, F.V.; LAURA, V.A.; ALMEIRA, R.G. Conforto térmico e bem-estar animal em pastagem: um desafio para a pecuária tropical. IV SIMPAPASTO. 2016. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/167367/1/Conforto-termico-e-bem-estar-animal-em-pastagem.pdf>>. Acesso em: 07 out. 2022.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P. Conforto Térmico e Stress Térmico. Disponível em: <<http://dec.ufms.br/lade/docs/cft/ap-labee.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2022.

MAIOCHI, R., RODRIGUES, R., & WOSIACKI, S. (2019). Principais métodos de detecção de mastites clínicas e subclínicas de bovinos. *Enciclopédia Biosfera*, 16(29), 1237–1251. https://doi.org/10.18677/EnciBio_2019A104

MASSOTE, V. P., ZANATELI, B. M., ALVES, G. V., GONÇALVES, E. S., & GUEDES, E. (2019). Diagnóstico e controle de mastite bovina: uma revisão de literatura. *Revista Agro veterinária Do Sul de Minas*, 1(1), 41–54.

MELERO, M.; RODRIGUEZ-PRIETO, V.; RUBIO-GARCIA, A.; GARCIA-PARRAGA, D.; SANCHEZ-VIZCAINO, J.M. Thermal reference points as na index for monitoring body temperature in marine mammals. *BMC Research Notes*, 8, 411, 2015.

METZNER, M.; SAUTER-LOUIZ, C.; SEEMUELLER, A.; PETZL, W.; KLEE, W. Infrared thermography of the udder surface of dairy cattle: Characteristics, methods, and correlation with rectal temperature. *The Veterinary Journal*, 199, 57-62, 2014.

MOURA, D. J.; CARVALHO CURI, T. M.R. Ambiência de precisão: tecnologias de avaliação e controle ambiental em galpões. *Simpósio 7: Avanços em Zootecnia de Precisão*, UNICAMP, 2017.

NÄÄS, I. A. Princípios de conforto térmico na produção animal. Editora ícone, 1989.

NÄÄS, I. A., ACARO JUNIOR, I. Influência de ventilação e aspersão em sistemas de sombreamento artificial para vacas em lactação em condições de calor. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiência*, n.5, p.139-142, 2001.

NAZARENO, A. C.; SILVA, I. J. O.; VIEIRA, F. M. C.; SANTOS, R. F. S. One day-old chicks transport: Assessment of thermal profile in a tropical region. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental*. 19 (7), 663-667, 2015.

NRC. 1971. A Guide to Environmental Research on Animals. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.

OKADA, K.; TAKEMURA, K.; SATO, S. Investigation of Various Essential Factors for Optimum Infrared Thermography. *Journal of Veterinary Medical Science*, 75, 1349-1353, 2013.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. J.; SOUZA, S. R. L.; CRUZ, V. F.; VICENTIN, T. A.; GLAVINA, A. S. G. Development of an android APP to calculate thermal comfort indexes on animals and people. *Computers And Electronics In Agriculture*, v. 151, p.175-184, ago. 2018.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. J. Sistema móvel para análise de conforto térmico de animais, utilizando método interpolador *IDW*. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agronômicas, 2018.

PASSINI, R.; FERREIRA, F. A.; BORGATTI, L. M. O.; TERÊNCIO, P. H.; SOUZA, R. T. Y. B.; RODRIGUES, P. H. M. Estresse térmico sobre a seleção da dieta por bovinos. *Acta Scientiarum: Animal Science*, Maringá, v. 31, n. 3, p.303-309, 2009.

PERISSINOTTO, M.; MOURA, D. J.; CRUZ V. F.; SOUZA, S. R. L.; LIMA, K. A. O.; MENDES, A. S. Conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em clima

subtropical e mediterrâneo pela análise de parâmetros fisiológicos utilizando a teoria dos conjuntos fuzzy. *Ciência Rural*, v.39, p.1492-1498, 2009.

POLAT, B.; COLAK, A.; CENGİZ, M.; YANMAZ, L.E.; ORAL, H.; BASTAN, A.; KAYA, S.. HAYIRLI, A. Dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 93:3525-3532, 2010.

SCHAEFER, A.L.; COOK, N.J.; BENCH, C.; CHABOT, J.B.; COLYN, J.; LIU, T.; OKINE, E.K.; STEWART, M.; WEBSTER, J.R. The non-invasive and automated detection of bovine respiratory disease onset in receiver calves using infrared thermography. *Research in Veterinary Science*, 93, 928-935, 2012.

SILVA, I. J.O.; PANDORFI, H.; ACARARO JR.; IRINEU, P.; SÔNIA, M.S.; MOURA, D. J. Efeitos da climatização do curral de espera na produção de leite de vacas holandesas, 2002.

TALUKDER, S.; THOMSON, P.C.; KERRISK, K.L.; CLARK, C.E.F.; CELI, P. Evaluation of infrared thermography body temperature and collar-mounted accelerometer and acoustic technology for predicting time of ovulation of cows in a pasture-based system. *Theriogenology*, 83, 739-748, 2014.

THOM, E. C. The discomfort index. *Weatherwise* 12, 57–59, 1959.

VITALI, A.; SEGNALINI, M.; BERTOCCHI, L.; BERNABUCCI, U.; NARDONE, A.; LACETERA, N. Seasonal pattern of mortality and relationships between mortality and temperature-humidity index in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 92 (8), 3781–3790, 2009.

WALDSMITH, J.K.; OLTMANN, J.I. Thermography: subclinical inflammation, diagnosis, rehabilitation and athletic evaluation. *Journal of Equine Veterinary Science* 14:8-10, 1994.

CAPÍTULO 2

APLICATIVO DE MONITORAMENTO DO CONFORTO TÉRMICO E BEM-ESTAR EM VACAS LEITEIRAS

RESUMO

Os sistemas de produção de leite focam, de maneira sistêmica, na automação das atividades com ênfase no bem-estar das vacas, qualidade do leite produzido e do ambiente físico em que os animais e funcionários estão inseridos. A sua automação permite o monitoramento e controle do funcionamento do sistema físico, registrando intercorrências e explorando condições de climatização por meios artificiais. Assim, esse estudo foi projetado para desenvolver um aplicativo para monitoramento de instalação, predizendo o conforto do ambiente notado pelos animais e em situações estressantes, atuando adequadamente em proposta de medidas mitigatórias. O aplicativo foi criado para o sistema operacional *Android*, a partir da versão 16, *Android* 8.0 – Oreo, API 32, utilizando-se do ambiente de desenvolvimento integrado *Android Studio* 2.3.3 e linguagem de programação orientada a objetos Java. Os mapas que representam os modelos de temperatura do ar e de índices de conforto térmico foram criados em um gradiente de lógica de *Fuzzy*, onde os valores mais inferiores inicializados em tons de azul e os mais superiores em tons de vermelho. O App é uma ferramenta eficaz para auxiliar na avaliação das condições do microclima de uma instalação e caracterizar medidas mitigatórias para intervenção das causas de estresse térmico.

Palavras-chave: estresse térmico; produção animal; índices de conforto térmico; dispositivos móveis.

2.1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de produção de leite focam, sistematicamente, no bem-estar dos bovinos de leite, no aumento da qualidade do leite produzido e do trabalho da mão de obra, enfatizando aspectos de gestão e modernização. O interesse pelas tecnologias eficazes e capazes de mitigar os efeitos do calor, em humanos e animais, aumentou proporcionalmente a atenção às mudanças climáticas e aquecimento global dos últimos anos.

As condições ambientais adequadas estão relacionadas com a ambiência e qualidade do ambiente. Em termos de conceito da qualidade ideal do ambiente, para produção de leite, está associado aos princípios de conforto térmico, envolvendo o microclima gerado dentro das instalações que é, em contrapartida, influenciado pelas condições externas (macro clima).

Para assegurar o conforto dentro de uma granja leiteira existem diversas formas, porém, requer resoluções econômicas e práticas, atribuindo mecanismos naturais e artificiais de controle. O sistema de automação garante o monitoramento e controle do funcionamento de um sistema físico de forma rápida, segura e automática, permitindo o registro de intercorrências em um dado sistema e emitindo alertas ao produtor em casos excepcionais. Desta forma, automatiza atividades rotineiras e gera respostas comuns para uma dada característica do ambiente.

Registra-se que o conceito está relacionado à redução otimizada de perdas e tecnificação da bovinocultura leiteira e a competitividade crescente do mercado tem preferido animais geneticamente melhorados, com nutrição e manejo adequados, além de instalações planejadas e equipadas que atenda condições ambientais satisfatórias.

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um aplicativo para monitoramento do ambiente de instalação, facilitando o manejo dos animais e do galpão, propondo medidas mitigatórias frente aos diferentes níveis de estresse térmico.

2.2 REVISÃO DE LITERATURA

2.2.1 AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS

A automação permite ao produtor maior monitoramento e controle do funcionamento do sistema. Existem vários modelos de sistemas de automação e com isso, variadas complexidades. Em comum, existe a necessidade de perceber o ambiente que está inserido e atuar de modo esquemático, sendo necessários sensores e atuadores. Ainda, existe um controlador inteligente no qual diferentes unidades do sistema comunicam entre si e o meio externo (FIALHO, 1999).

A implantação permite a visualização e um maior número de informação sobre o sistema de produção, com o monitoramento diário de informações como a quantidade de leite ordenhado, fluxo de leite durante a ordenha, qualidade do leite e saúde do quarto mamário (FIALHO, 1999).

Alguns sistemas permitem que os dados registrados sejam armazenados e processados mais tarde, possibilitando a extração de um relatório de ocorrências, a ser consultado eventualmente. A qualidade e temperatura do leite em um tanque de refrigeração, por exemplo, pode ser monitorado diariamente para se certificar do correto funcionamento (FIALHO, 1999).

2.2.2 SENSORES

Os sistemas dependem de uma interface para avaliar o estado atual e os sensores executam esse papel, medindo características de funcionamento, já que captam mensagens do ambiente e processam essas informações em um controlador principal, que responde a mensagem de acordo com um método pré-estabelecido. Um exemplo simples de sistema automatizado é o termostato (FROST et. al, 1997).

Os sistemas não se resumem à coleta de informação, já que atuam também sobre um modo de resposta ao fator detectado pelos sensores. Ao detectar mudanças na

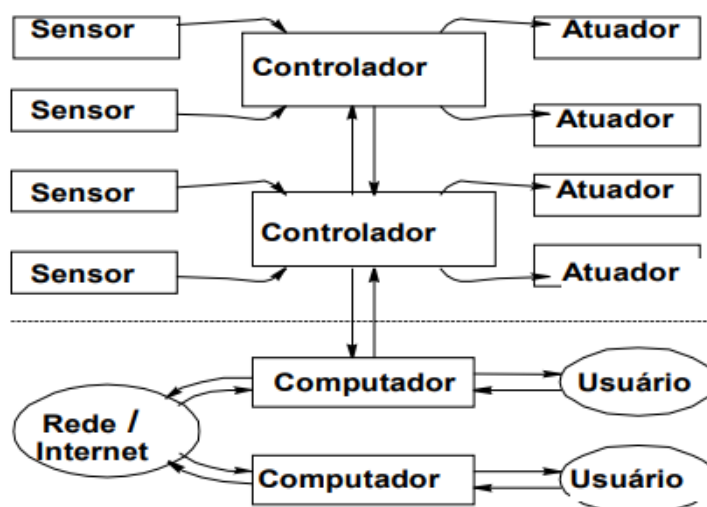
temperatura ambiente, o termostato deve ser capaz de ligar e desligar um ou mais aparelhos como aquecedores ou ventiladores.

2.2.3 CONTROLADORES

Os sensores e atuadores funcionam paralelamente, pois, em geral, um ou mais controladores recebem informações dos sensores e processam essa informação para que possa ser transmitida aos atuadores. Um circuito controlador é construído ao redor de um microcontrolador programável, cada qual com sua linguagem de programação e características. Além do microcontrolador central, é possível que existem outras placas com outros chips para memória e armazenamento das informações, com conversores analógicos e circuitos de comunicação. A programação do microcontrolador é feita em função dos sensores e atuadores conectados (FIALHO, 1999; SILVA, 2008).

Na Figura 1 é apresentado um fluxograma onde há dois controladores ligados entre si, eles recebem informações de dois sensores e controlam dois atuadores e essa comunicação permite que um valor medido por um sensor unido ao primeiro controlador interfira no funcionamento do atuador ligado ao segundo.

Figura 1 - Fluxograma de informação em um sistema de automação



Fonte: Fialho, 1999.

2.2.4 COMUNICAÇÃO

O sistema poderá ser constituído com uma unidade de controle única ou unidades descentralizadas interligadas em rede, trocando mensagens entre si através de um protocolo pré-estabelecido. Os moldes de funcionamento de uma rede de controladores são estabelecidos sob diferentes formas, atuando individualmente ou não. Essa rede, por sua vez, pode servir apenas para configurar o funcionamento ou para definir cada uma das ações do controlador (FIALHO, 1999; SILVA, 2008).

A projeção do sistema de automação deverá ter a capacidade de detectar e suportar os erros de comunicação, funcionando de maneira adequada caso ocorra interrupção, afinal, a comunicação de um ou mais controladores podem estar associadas ao terminal de computador, permitindo que o mesmo controle o sistema.

Além disso, infere-se que a comunicação poderá ser intermitente ou permanente, sendo também possível que um dispositivo portátil seja conectado ao sistema, apenas para programação ou configuração do mesmo (FIALHO, 1999; SILVA, 2008).

2.2.5 CONTROLE DO AMBIENTE PARA A PRODUÇÃO ANIMAL

O ambiente térmico exerce grande influência na produção animal e o sistema de controle ambiental varia em complexidade, ligando e desligando ventiladores, dependendo da temperatura até medição das variáveis climatológicas: temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e concentração de amônia, por exemplo.

Os sensores utilizados geralmente são sensores de temperatura e umidade, estimando o conforto térmico percebido pelos animais. Em ocasiões de termoneutralidade ou de estresse brando, o sistema pode decidir pelo controle do ambiente por meios naturais (controle de densidade, manejo de cortina) e em caso severo, por nebulizadores ou aspersores (NAAS et al., 1998).

Frente aos desafios suportados pelos animais pela criação em clima tropical, os sistemas diminuem perdas e controlam o sistema de produção de maneira mais

eficiente, otimizando o uso de insumos. Logo, o bom funcionamento, dependerá, em partes, de funcionários treinados para o uso adequado.

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

2.3.1 DELIMITAÇÃO DOS CAMPOS DE PESQUISA

Duas maneiras de validação foram utilizadas para análise da integridade do *software CowmFort*, a primeira foi realizada na fazenda experimental Lageado, Botucatu/SP, Brasil e a segunda, por sua vez, em dois rebanhos leiteiros no estado de São Paulo.

2.3.2 SOFTWARE DE MONITORAMENTO

O App *CowmFort* foi criado para o sistema operacional *Android* a partir da versão 4.1.X JUJUBA - API nível 16 e desenvolvido através do ambiente integrado *Android Studio* 2.3.3, testada na versão *Android* 12L - 12 API nível 32 (GOOGLE, 2019) por meio da linguagem de programação orientada a objetos Java. Nesta programação, uma classe é uma estrutura, na qual objetos que dividem as mesmas características (atributos) e métodos (ações) são criados (DEITEL e DEITEL, 2010). Neste caso, tem-se uma tela diretamente proporcional à largura da tela do smartphone.

Através de tais mecanismos foram criados mapas de temperatura do ar e de índices de conforto térmico, os quais utilizam um gradiente de lógica de *Fuzzy*, sendo os valores mais inferiores inicializados em tons de azul e os mais superiores em tons de vermelho.

2.3.3 ÍNDICE DE TEMPERATURA E UMIDADE

Utilizou-se o cálculo do Índice de Temperatura e Umidade - ITU (Equação 1) para o estudo do conforto térmico no interior de instalações (VITALI et al., 2009).

$$ITU = (1,8T_a + 32) - 0,55 \left(1 - \frac{RH}{100}\right)(1,8T_a - 26) \quad (1)$$

Em que T_a é a temperatura do ar (°C) e RH a umidade relativa (%).

As categorias de conforto térmico para o índice ITU em bovinos de leite (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2018), apresenta-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Categoria de conforto térmico para o Índice de Temperatura e Umidade (ITU)

Categorias de conforto térmico para bovinos de leite	
ITU	
Conforto térmico	ITU < 72
Estresse pelo calor (leve)	$72 \leq \text{ITU} < 79$
Estresse pelo calor (moderado)	$79 \leq \text{ITU} < 89$
Estresse pelo calor (severo)	$89 \leq \text{ITU} < 98$

Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR et al. (2018, p.176).

2.3.4 MEDIDAS MITIGATÓRIAS

Para assegurar o bem-estar animal e reduzir os efeitos provocados pelo estresse térmico na produção do leite, medidas foram estabelecidas de acordo com os limites de ITU e revisões literárias, os quais encontram-se delimitados abaixo:

- ITU < 72: em conforto térmico com condições adequadas de temperatura e umidade;
- $72 \leq \text{ITU} < 79$: em estresse leve, sendo necessário verificar a ventilação do ambiente e, se necessário, ligar os ventiladores. O tempo de descanso dos animais e a temperatura da água de consumo e, se preciso, ofertar água fresca;
- $79 \leq \text{ITU} < 89$: em estresse moderado, sendo necessário ligar os ventiladores, aspersores e/ou nebulizadores. Precisa verificar, ainda, se os animais estão ingerindo água fresca e sombrear os cochos e bebedouros, além de garantir que eles estejam com sombra natural e/ou artificial a pasto;

- $89 \leq \text{ITU} \leq 98$: em estresse severo, sendo necessário ligar imediatamente os ventiladores, aspersores e/ou nebulizadores. Com o auxílio de um médico veterinário, precisa verificar a temperatura retal dos animais e resfriar o rebanho com água de aspersão e/ou nebulização, oferecendo água fresca e garantindo que eles tenham acesso a sombra;
- $\text{ITU} > 98$: alerta de hipertermia. Com urgência, precisa molhar os animais e promover uma ventilação intensa sobre eles, ofertando água fresca e sombreando os cochos e bebedouros, de modo a garantir acesso a sombra natural e/ou artificial.

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aplicativo *CowmFort* foi desenvolvido e testado na versão *Android* 12L - 12 API nível 32, cuja proporcionalidade entre largura e altura da tela é ajustável de acordo com o *smartphone* do usuário para melhor visualização.

Na tela inicial (Figura 2) o usuário tem acesso ao menu composto por três funções: A) representada por uma “casinha”, contendo o nome do *software* (Figura 2 A); B) representada por um “termômetro”, o usuário tem acesso ao cálculo do índice (Figura 2 B) e C) representado por um “i”, com informações sobre o desenvolvimento do *software* (Figura 2 C).

Figura 2 (A; B; C) - Aplicativo *CowmFort*, sendo: A) tela inicial; B) tela para cálculo do índice de conforto térmico e C) informações sobre o aplicativo



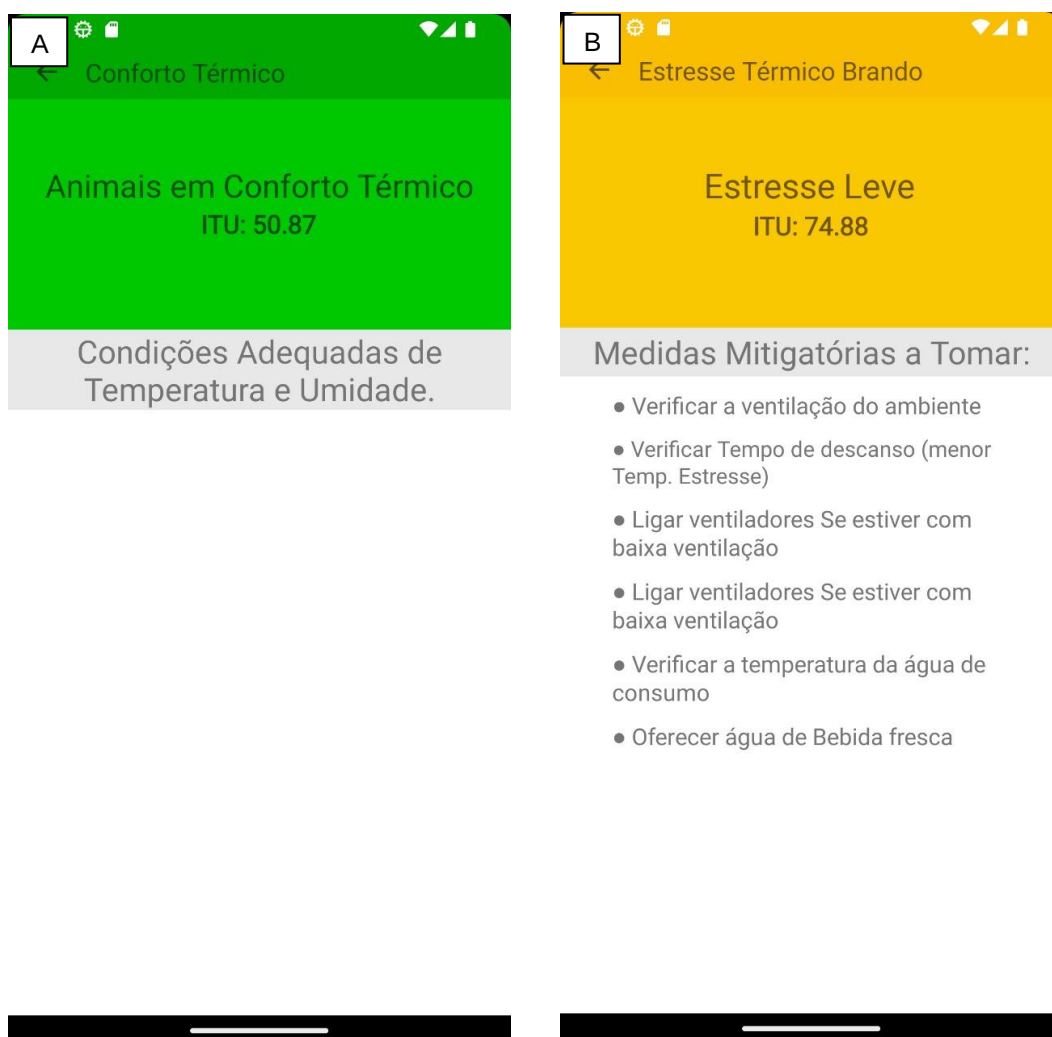
Foto: Nathieli Ziviani Costa - 2022

Utilizou-se o ITU (Equação 1) para o estudo do conforto térmico no interior de instalações, definindo as categorias de conforto térmico para vacas leiteiras (Tabela

1). Os resultados do cálculo são apresentados em um gradiente de cores de lógica de *Fuzzy*, sendo os valores mais inferiores inicializados em azul e os mais superiores em vermelho.

Duas maneiras de validação foram utilizadas para análise da integridade do *software CowmFort*: a primeira foi realizada na fazenda experimental Lageado, Botucatu/SP, Brasil e posteriormente, em dois rebanhos leiteiros no estado de São Paulo, com valores de temperatura do ar (°C) e umidade relativa (%) reais das instalações e fictícios para assegurar o funcionamento das telas (Figura 3).

Figura 3 (A; B; C; D; E) - Validação do cálculo do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) para bovinos de leite, sendo: A) animal em conforto térmico; B) animal em estresse leve; C) animal em estresse moderado; D) animal em estresse severo e E) alerta de hipertermia



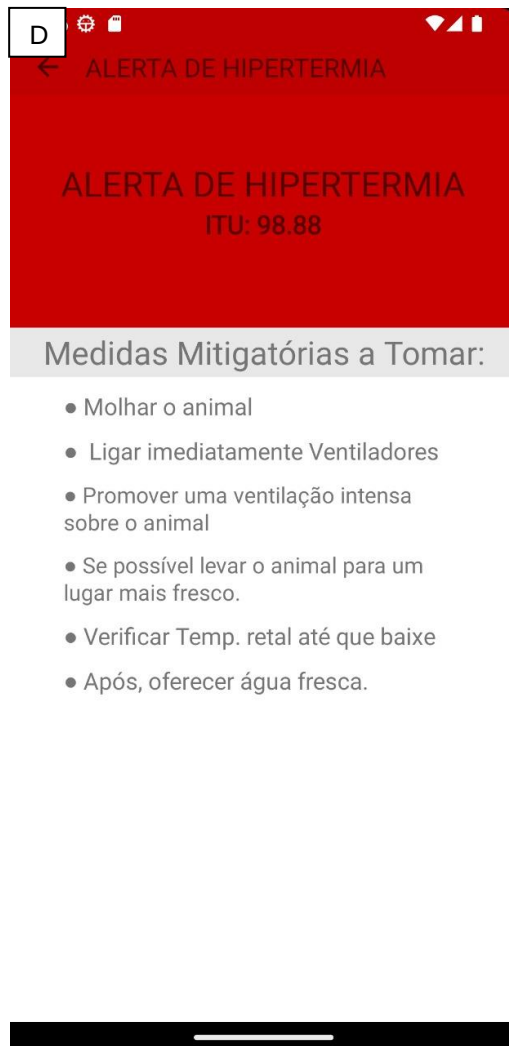




Foto: Nathiely Ziviani Costa - 2022

Para o correto funcionamento do *software*, o usuário deve observar:

- Sistema operacional: possuir *smartphone* com *Android Studio Dolphin* 2021.3.1 Patch 1;
- Disponibilidade de memória RAM livre de, pelo menos, 1280 M para execução correta das funções;
- Para fins de usabilidade, o *layout* deve ser usado sem rotacionar a tela - modo retrato (*portrait mode*).

2.5 CONCLUSÕES

O *software CowmFort* será registrado na plataforma Google Play, nas versões Português e Inglês, para *download* em *smartphones* com sistema *Android*, sendo uma ferramenta eficaz para auxiliar no diagnóstico das condições microclima de uma instalação e caracterizar medidas mitigatórias para intervenção das causas de estresse térmico.

Além disso, o *CowmFort* pode auxiliar em trabalhos científicos que avaliem o conforto térmico em diferentes ambientes de criação de bovinos de leite.

REFERÊNCIAS

DEITEL, P.; DEITEL, H. Java Como Programar. 8. ed. São Paulo: Pearson, 2010. 1104 p.

FIALHO, F.B. Modernização no controle da produção de suínos: zootecnia de precisão. IN: Silva, I.J.O. Ambiente e qualidade na produção industrial de suínos. Fealq. 1999.246p.

FROST, A.R.; SCHOFIELD, C.P.; BEAULAH, S.A.; MOTTRAM, T.T.; LINES, J.A.; WATHES, C.M. A review of livestock monitoring and the need for integrated systems. Computers and Electronics in Agriculture, n.17 p.139-159. 1997.

GOOGLE. Android Studio. 2019. Disponível em:<<https://developer.android.com/studio>>. Acesso em: 27 out. 2022.

NÄÄS, I.A.; FIALHO, F.B. Zootecnia de Precisão: Aplicação na Produção de leite. In: Silva, I.J.O. Ambiente na produção de leite em clima quente. Fealq. Piracicaba. 201p. 1998.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. J.; SOUZA, S. R. L.; CRUZ, V. F.; VICENTIN, T. A.; GLAVINA, A. S. G. Development of an android APP to calculate thermal comfort indexes on animals and people. Computers And Electronics In Agriculture, v. 151, p.175-184, ago. 2018.

VITALI, A.; SEGNALINI, M.; BERTOCCHI, L.; BERNABUCCI, U.; NARDONE, A.; LACETERA, N. Seasonal pattern of mortality and relationships between mortality and temperature-humidity index in dairy cows. Journal of Dairy Science. 92 (8), 3781–3790, 2009.

CAPÍTULO 3

DETECÇÃO DE MASTITE BOVINA ATRAVÉS DE SENSOR DE BAIXO CUSTO

RESUMO

O sistema de ordenha robotizada implica em mudanças nas instalações, no gerenciamento do rebanho e melhoramento genético e, para que haja um bom funcionamento, a uniformidade da conformação do úbere é imprescindível. Convém mencionar que na ordenha robótica, tetos sujos constituem um fator de atenção para que não haja crescimento de casos de inflamação intramamária e da contagem de células somáticas. Assim, o objetivo deste projeto foi desenvolver um dispositivo automático para detectar casos de mastite subclínica, tendo sido estudado 50 vacas da raça Holandesa confinadas em *low-profile cross-ventilated freestall* e ordenhadas em sistema de ordenha robotizada, numa Fazenda situada em São Pedro/SP. Na oportunidade, as vacas foram distribuídas em dois grupos com 25 animais cada (sadias e não sadias) e foram obtidos termogramas através de uma câmera termográfica com resolução de 4800 pixels (Flir® modelo TG165-X), com distância de 30 centímetros e emissividade (ϵ), recomendada para tecidos biológicos (0.95). As imagens foram registradas no período da manhã (10h:00 min) e analisadas pelo *software* IRSoft®, de modo que os termogramas criados foram da parte direita, esquerda e posterior da superfície do úbere. Uma vez analisado os resultados, as vacas identificadas com mastite bovina foram fotografadas de acordo com o quarto acometido e, os dados coletados, foram submetidos primeiramente a uma análise descritiva. Após, realizou-se a Análise de Variância (ANOVA) e, se necessário, o teste de *Tukey* ($p < 0,05$) utilizando o programa estatístico *Jamovi* versão 2.3.21. O sensor foi sensível a alterações na temperatura da glândula mamária pelo acometimento do patógeno, entretanto, o layout da propriedade, o horário e o local da coleta tiveram efeito sobre a temperatura do úbere.

Palavras-chave: inflamação intramamária; contagem de células somáticas; ordenha robótica; qualidade do leite; termografia infravermelha.

3.1 INTRODUÇÃO

Oportuno mencionar, de proêmio, que a implantação de sistemas de ordenha robotizada representou um avanço tecnológico para a bovinocultura leiteira no início dos anos 90 e referido sistema baseia-se na ordenha voluntária das vacas em lactação, em um processo completamente automatizado, otimizando a produção sem implicar no aumento do rebanho e no número de funcionários (DRACH et al., 2017).

Para ter o seu acesso liberado à área da ordenha, a vaca é identificada no portão de acesso pela leitura do microchip. O concentrado, quando disponibilizado, é fornecido e dá início ao processo de ordenha, exemplificado na Figura 1. Se o animal não estiver apto para ser ordenhado, é guiado à saída pela abertura automática do portão (MACULAN e LOPES, 2016).

Figura 1 (A; B) - A) vaca sendo identificada no portão de acesso pela leitura do microchip e B) cocho para fornecimento do concentrado



Foto: Nathiely Ziviani Costa - 2022

De todo modo, para que ocorra a ordenha, o sensor de localização identifica o úbere e o posicionamento dos tetos, os quais são higienizados com jatos d'água e secos com ar ou, dependendo da sujidade, submetidos à limpeza com rolos de escova. Para o início da ordenha, as teteiras são acopladas aos tetos e a remoção, consecutivamente, ocorre assim que o fluxo de leite é reduzido a níveis pré-

determinados por quarto mamário. Após, aplica-se o pós-dipping em cada teto (MACULAN e LOPES, 2016).

Infer-se que são três os eixos lineares que servem de referência para o funcionamento do braço mecânico: X, Y e Z e, para que haja a localização dos tetos, necessita-se da posição exata do úbere. Ademais, o sistema possui um sensor que é composto por uma triangulação ótica que consiste em reflexão dos feixes de luz infravermelha para auxílio nos posicionamentos, não havendo interferência da cor dos tetos na efetivação do processo (CATTANEO et al., 1996).

O projeto em comento teve por objetivo desenvolver um dispositivo portátil para detecção de casos de mastite bovina, através da diferença de temperatura do úbere pela presença de um processo inflamatório.

3.2 REVISÃO DE LITERATURA

3.2.1 FREQUÊNCIA DE ORDENHA E SAÚDE ANIMAL

É cediço que durante a ordenha robótica o sensor de identificação reconhece o úbere e o posicionamento dos tetos, os quais são higienizados através de jateamentos de água e secos com ar. Para o início da ordenha, teteiras são acopladas aos tetos (Figura 2) e a sua remoção, consecutivamente, ocorre assim que o fluxo de leite reduz aos níveis pré-determinados de cada quarto mamário. Posteriormente, aplica-se o pós-dipping em cada teto (MACULAN e LOPES, 2016).

Figura 2 (A; B) - A) higienização do teto e B) teteiras acopladas ao úbere da vaca

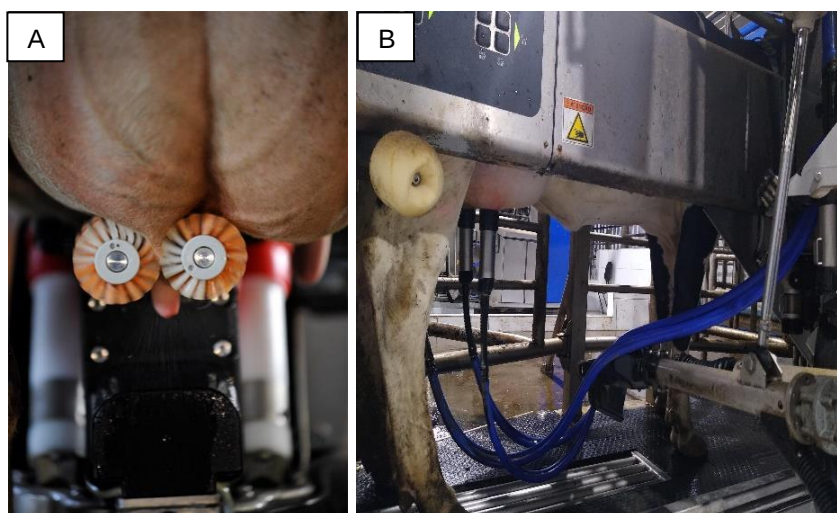


Foto: Nathiely Ziviani Costa - 2022

Ocorre que um dos grandes entraves deste sistema é sustentar a frequência de ordenha das vacas durante o processo de lactação, aumentando não apenas o bem-estar, como também o desempenho produtivo (BACH e CABRERA, 2017). Vijayakumar et al. (2017) descreveram um resultado positivo entre a frequência da ordenha e a produção de leite, com o aumento no rendimento quando os animais eram ordenhados quatro vezes ao dia. Para eles, os estudos demonstraram taxas de ordenha voluntárias maiores, variando entre 2,7 e 3,2 ordenhas/vaca/dia (MADSEN et al., 2010; MUNKSGAARD et al., 2011; CASTRO et al., 2012; DEMING et al., 2013).

Assim, a quantidade de ordenha ou frequência dependerá de fatores combinados que, por sua vez, estão relacionados às instalações, manejo e saúde das vacas. Eventual comportamento irregular está associado a perdas em produção de leite, aumentando os riscos de mastite e impactando na obtenção dos lucros (VIJAYAKUMAR et al., 2017).

Ato contínuo, os fatores relativos à vaca incluem a saúde do animal (principalmente claudicação), produção de leite, fase de lactação e ordem de parição. A claudicação provoca desconforto e dor no animal, ocasionando a redução da mobilidade e alterações no comportamento, o que acarreta uma redução no padrão de ordenha voluntária e, conseqüentemente, afeta a produção de leite e aumenta a possibilidade de intervenção ao buscá-las para serem ordenhadas (VIJAYAKUMAR, 2017).

Desse modo, para os fatores pertinentes às instalações e manejo, pode-se incluir o layout da fazenda, a taxa de lotação, o tipo de tráfego destinado às vacas, e a estratégia de alimentação concentrada (VIJAYAKUMAR, 2017).

3.2.2 ESTÁGIO DE LACTAÇÃO E ORDEM DE PARIÇÃO

Deming et al. (2013) e Clark et al. (2014) avaliaram em seus estudos que as vacas no início da lactação são ordenhadas mais vezes quando comparadas àquelas no final da lactação, atingindo o número máximo de visitação com 100 dias em lactação (DEL). Segundo os autores, apenas as vacas de alta produção que podem ser submetidas a quatro ordenhas por dia, eis que se encontrarão em pico de lactação e se faz extremamente necessário que a frequência de ordenha seja ajustada em função da referida fase, preservando a saúde da glândula mamária.

Ainda sobre o padrão de ordenha, pesquisas divergiram quanto à ordem de parto, Jacobs e Siegford (2012) afirmaram que as vacas multíparas comparecem com mais frequência a área de ordenha. Em contrapartida, o trabalho de Deming et al. (2013) comprovaram que vacas multíparas acessam o SOR com menor frequência que as primíparas. Já para André et al. (2010), não observaram efeitos da parição no que se refere à frequência de visitas ao robô.

Para o controle de fluxo e determinação do número de ordenha/ dia, informações como a quantidade de leite ordenhado, fluxo de leite durante a ordenha, condutividade elétrica e presença de sangue no leite são coletados através de medidores individuais por quarto, permitindo analisar o desempenho individual e do lote. Na Figura 3 é apresentado o painel de controle para acompanhamento da frequência de visitas ao robô, produção geral e suas respectivas estatísticas.

Figura 3 - Painel de controle



Foto: Nathiely Ziviani Costa - 2022

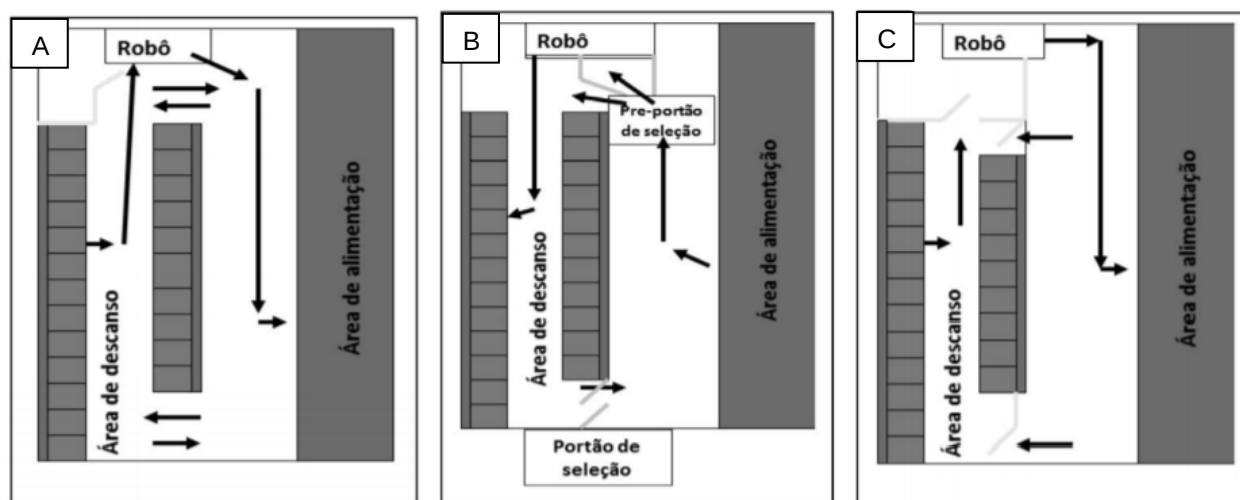
3.2.3 TAXA DE LOTAÇÃO E TIPO DE TRÁFEGO

Ao trabalharem com um número adequado de vacas por robô, observou-se melhorias quanto ao número de ordenhas por vaca, diminuição no tempo de espera para entrar na sala de ordenha e melhoria na distribuição diária do alimento, o que reflete positivamente na produção de leite, bem-estar e saúde dos animais (MIGLIORATI et al., 2005). Deming et al. (2013) sugeriram uma quantidade adequada de 60 vacas por unidade em sistemas de tráfego livre, não comprometendo a pausa entre as ordenhas, tampouco a produção de leite do rebanho.

Rodenburg (2017b) descreveu em seu projeto os tráfegos adotados de acordo com o layout da fazenda, os quais se encontram abaixo delimitados e foram igualmente representados na Figura 4:

- Fluxo livre, sem restrição de lote. A vaca circula livremente pelos lotes, dirigindo-se à ordenha quando sentir vontade para isso. Nessa instalação, os animais normalmente recebem uma maior quantidade de concentrado no início da lactação e vai até seu pico de lactação;
- “Alimento primeiro” (do inglês: *feed first*), o tráfego continua sendo conduzido pelo portão de pré-seleção, sendo assim, a vaca é conduzida aos cochos de alimentação primeiro e só retornam à área de descanso através dos portões de pré-seleção, que levam as vacas aptas para o robô ou à área de descanso;
- “Leite primeiro” (do inglês: *milkfirst*). Durante o trajeto, as vacas são direcionadas ao portão de pré-seleção e, na hipótese de estarem aptas, seguem para ordenha; quando não, são conduzidas para área de alimentação;
- Tráfego guiado, portões de via única e portões que realizam a seleção, são utilizados para guiarem as vacas à ordenha. As instalações promovem a separação da área de descanso da área de alimentação, passando obrigatoriamente pelo portão onde são selecionadas, determinando se estão preparadas ou não para ordenha. Se estiverem, são desta forma guiadas para o robô; caso contrário seguirão para área de alimentação e serão direcionadas à área de descanso.

Figura 4 (A; B; C) - Tipos de tráfego, sendo: A) fluxo livre; B) alimento primeiro; C) leite primeiro



Fonte: RODENBURG, 2017b.

Inexistindo comum acordo quanto ao tipo de tráfego melhorado ou adequado a ser adotado, o layout da instalação dependerá das necessidades de cada fazenda. Isso porque, as pesquisas que abordaram este estudo tiveram seus resultados limitados pelo número de amostras (N) ou pelas características divergentes de criação.

3.2.4 NUTRIÇÃO

Dispor de um sistema de alimentação associado ao SOR, tem como escopo central oferecer uma dieta que supra às exigências nutricionais e induza vaca para a ordenha com mais regularidade, estimulando não apenas o incremento da produção de leite, como também preconizando que o funcionário intervenha na ordenha (RODENBURG, 2017b).

Assim, o programa define quais serão os parâmetros de alimentação, baseando-se na idade ou fase de lactação. Geralmente, o nível de concentrado apresenta um aumento gradual, a depender das semanas iniciais de lactação, aumentando proporcionalmente a produção de leite e fazendo com que se chegue a níveis máximos no pico de lactação (14 semanas, em média); ou seja, sendo o inverso verdadeiro (ANDRÉ et al., 2010; RODENBURG, 2017a).

Rodenburg (2017a), em sua pesquisa, descreveu que vacas introduzidas no período de pós-parto, independente da capacidade de produção, devem receber de um a três kg/dia de concentrado, com acréscimos de 100 a 300 g/dia nas duas primeiras semanas. Segundo o autor, para cada kg de leite produzido, a vaca deverá comer, em média, 130 g de concentrado quando estiver sendo ordenhada. Decorrido tal período, as vacas deverão receber o alimento conforme a produção do leite, contudo, sendo além de suas exigências nutricionais para induzir a produção e equilibrar possíveis perdas de peso decorrentes da lactação. Ao atingir o pico de lactação e, principalmente, estando em condições corporais boas, o alimento passa a ser oferecido de acordo com a produção individual. Nos últimos sete a dez dias de lactação, o concentrado passa a ser gradualmente reduzido até zero, para dar início ao processo de secagem.

Em contrapartida, Bach e Cabrera (2017) concluíram que o tempo limitado de permanência das vacas na ordenha restringe o fornecimento de concentrado, não havendo uma quantidade ideal para ofertar. Em média, as vacas podem passar sete minutos no robô em cada ordenha e a ingestão média do concentrado peletizado é de 400 g/min, enquanto o farelado é de 250 g/min. Isso significa que uma vaca tem tempo de ingerir, no máximo, 2,8 kg de concentrado peletizado e 1,75 kg de farelado por ordenha, se considerarmos um número de visitas médias por dia de 2,5 por vaca, e a quantidade de concentrado oferecida no robô limitada de 4,4 a 7 kg/dia.

Também considerando a composição nutricional, Salfer e Endres (2016) descreveram que os ingredientes do concentrado são determinantes no que se refere a palatabilidade e para o sucesso do SOR. No entanto, Harper et al. (2016) não observaram alterações no comportamento de ingestão quando ofereceram um concentrado de palatabilidade alta e outro aromatizado.

3.2.5 MASTITE BOVINA

A mastite é a inflamação da glândula mamária que se caracteriza por apresentar alterações patológicas no tecido glandular e modificações das características físico-químicas do leite. As mais comumente observadas são: alteração de coloração,

aparecimento de coágulos e aumento da concentração de células somáticas (RADOSTITS et al., 2000).

A mastite pode se manifestar em duas formas distintas: a forma clínica cursa com sinais evidentes, tais como aparecimento de grumos ao realizar o teste da caneca de fundo preto, hipertermia, dor na glândula mamária, edema, pus ou outras alterações das características do leite (PARK e JACOBSON, 1996). A forma subclínica se manifesta pelas alterações na composição do leite; entre as principais, prevalecem o aumento da contagem de células somáticas (CCS), aumento dos teores de Cl e Na e redução da concentração de caseína, gordura, sólidos totais e lactose. Para cada caso de mastite clínica diagnosticado estima-se que há entre 15 a 40 casos subclínicos (PHILPOT, 1998).

Para classificação dos agentes etiológicos da mastite, dividem-se em dois grupos: contagiosos e ambientais, de acordo com a fonte de infecção. Na mastite ambiental, a vaca se infecta por microrganismos encontrados no meio ambiente (COSTA, 1998; COSTA et al., 2000). Os patógenos ambientais são os principais responsáveis por casos de mastite clínica em todo o mundo, entre os quais os mais prevalentes são os coliformes (*Escherichia coli*, *Klebsiella* spp e *Enterobacter* spp), estreptococos (*Streptococcus uberis*, *Streptococcus dysgalactiae* e *Streptococcus bovis*) e enterococos (*Enterococcus faecium* e *Enterococcus faecalis*).

Na mastite contagiosa, o agente possui a glândula mamária como ambiente de predileção e é transmitido primariamente durante a ordenha por meio da teteira contaminada. Os agentes contagiosos isolados com maior frequência são *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae* e *Corynebacterium bovis* (HOGAN et al., 1989). A mastite contagiosa manifesta-se principalmente pela forma subclínica; no entanto, é comum a ocorrência de infecções crônicas que se alternam frequentemente para a forma clínica. Apesar de ter sido praticamente erradicado em países de indústria leiteira desenvolvida, *S. agalactiae* ainda é prevalente em países em desenvolvimento.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

3.3.1 DELIMITAÇÃO DOS CAMPOS DE PESQUISA

A utilização do dispositivo para avaliação das condições térmicas e validação da identificação dos casos de mastite foi realizado nas instalações da Faculdade de Ciências Agrônômicas - FCA, UNESP, Botucatu - SP e em um rebanho comercial na cidade de São Pedro, no estado de São Paulo, com latitude 22°32'55" sul, longitude 47°54'50" oeste e altitude de 550 metros. O clima é tropical, classificado como Aw, com chuvas concentradas no período do inverno.

A instalação dispõe de seis ordenhas robóticas projetadas com layout de tráfego guiado, contendo portões de via única e portões que realizam a seleção utilizados para guiarem as vacas à ordenha. A projeção promove a separação da área de descanso da área de alimentação, passando obrigatoriamente pelo portão onde são selecionadas, determinando se estão aptas ou não para serem ordenhadas. Se estiverem, são desta forma guiadas para o robô; caso contrário seguirão para área de alimentação e/ou à área de descanso.

3.3.2 DISPOSITIVO PARA DETECÇÃO DE MASTITE

O equipamento conta com a comunicação realizada pelo microcontrolador no dispositivo via interface "I2C", utilizando dois pinos do microcontrolador e sua alimentação, por módulo, de 5V ou de 3V3 (Figura 5).

Figura 5- Dispositivo para identificação precoce de casos clínicos e subclínicos de mastite



Foto: Nathiely Ziviani Costa - 2022

Para conexão do sensor de temperatura na placa Arduino Uno, utilizou-se os pinos analógicos A4 (SDA) e A5 (SCL), que são pinos para a comunicação I2C (Figura 6).

Figura 6 - Dispositivo para identificação precoce de casos clínicos e subclínicos de mastite: microcontrolador

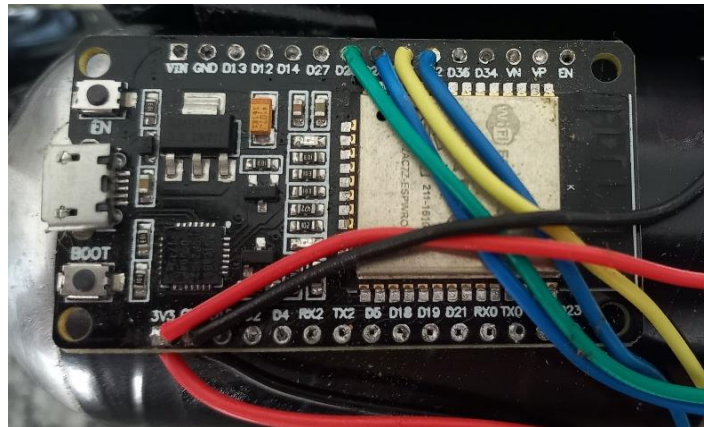


Foto: Nathiely Ziviani Costa - 2022

No mesmo, foi associado um display 16×2 I2C backlight azul, responsável por apresentar os valores da temperatura ambiente e do objeto mais perto do sensor, neste caso, o úbere (Figura 7).

Figura 7 (A; B) - A) Sensor de aferição e B) Sensor de aferição posicionado na teteira para leitura

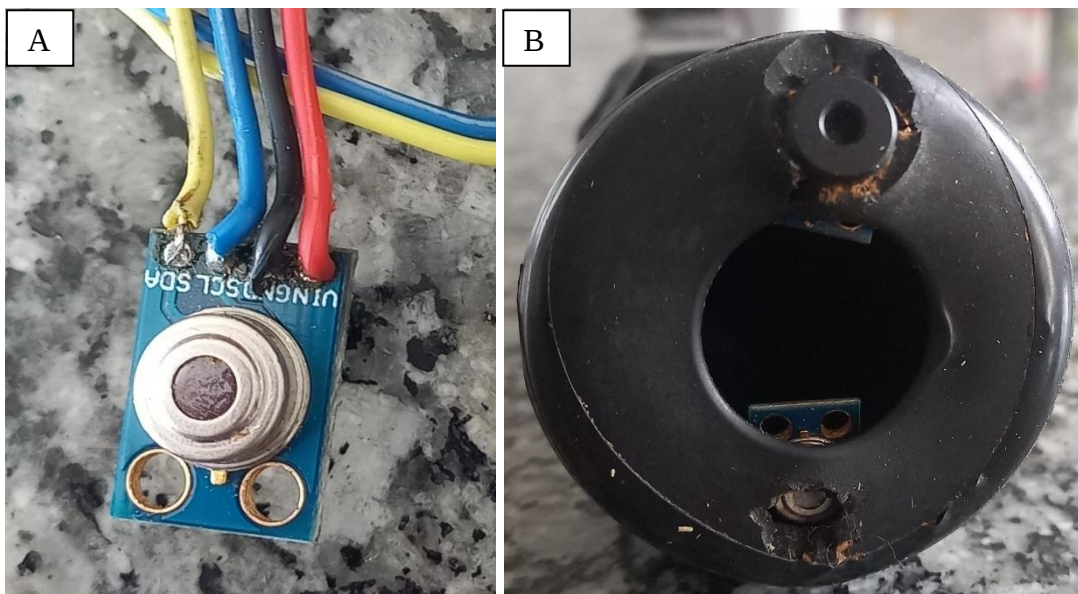


Foto: Nathiely Ziviani Costa - 2022

Foram registrados termogramas da parte direita, esquerda e posterior da superfície do úbere por uma câmera termográfica com resolução de 4800 pixels (Flir® modelo TG165-X), com uma distância de 30 centímetros e emissividade (ϵ) recomendada para tecidos biológicos (0.95). As referidas imagens foram registradas no período da manhã (10h00 min), ocasião que os animais sadios estavam sendo ordenhados na ordenha robótica e os animais diagnosticados com mastite bovina, dentro do galpão na área de descanso.

Corroborando com os valores do dispositivo sensorial, os animais foram submetidos à leitura por termômetro laser infravermelho OMEGA®, em Grau Celsius (°C), com uma distância de 30 centímetros.

Repisa-se, por oportuno, que as vacas são mantidas na mesma instalação, com condições climáticas controladas, divergindo os lotes pelas classificações de: produção de leite (kg), dias em lactação (DEL) e quadro clínico (vacas diagnosticadas com mastite, casos de metrite e/ou classificadas para descarte).

3.3.3 MASTITE: DEFINIÇÃO DE CASO

Prosseguindo, a mastite clínica é definida como a presença de sinais evidentes, tais como: aparecimento de grumos ao realizar o teste da caneca, hipertermia, dor na glândula mamária, edema, pus e quaisquer outras características alteradas do leite (PARK & JACOBSON, 1996; PEREIRA, 2000). Segundo os autores, os casos de mastite clínica foram classificados de acordo com a gravidade dos sinais: Grau 1 (leve), se ocorrido alterações exclusivamente no leite dos quartos afetados (grumos, pus, alterações da cor); Grau 2 (moderado), se presentes alterações no leite e sinais clínicos de alteração inflamatória na glândula mamária (hiperemia, edema, congestão, nódulos) e, Grau 3 (grave), quando as vacas apresentaram os sinais anteriores, para além do comprometimento sistêmico do animal (taquicardia, dificuldade respiratória, decúbito), com morte de animais por choque endotóxico. Antagônico a mastite clínica, a subclínica não apresenta sintomas de inflamação ou na composição do leite, sendo perceptível na queda da produção e aumento da CCS.

3.3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados coletados foram submetidos primeiramente a uma análise descritiva e, após, realizou-se a Análise de Variância (ANOVA). Se necessário, o teste de *Tukey* ($p < 0,05$), utilizando o programa estatístico *Jamovi* versão 2.3.21.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando os resultados colacionados ao presente, tem-se que a temperatura média do ar dentro do galpão, durante o período de estudo, foi de 23,5°C e a umidade relativa média do ar de 89%. A zona de conforto térmico para bovinos leiteiros encontra-se situada entre 5 e 25°C e o limite superior varia entre 25 e 27° (ROENFELDT, 1998; FUQUAY, 1981). Desta forma, os resultados foram compilados e avaliados por intermédio do aplicativo Orvalho®, sendo possível diagnosticar através do cálculo de Índice de Temperatura e Umidade (ITU), que os animais estavam em estresse térmico devido ao calor, em situação branda (Figura 8).

Figura 8 - Índice de Temperatura e Umidade (ITU) calculado pelo Aplicativo Orvalho®, com inserção manual dos dados de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%)

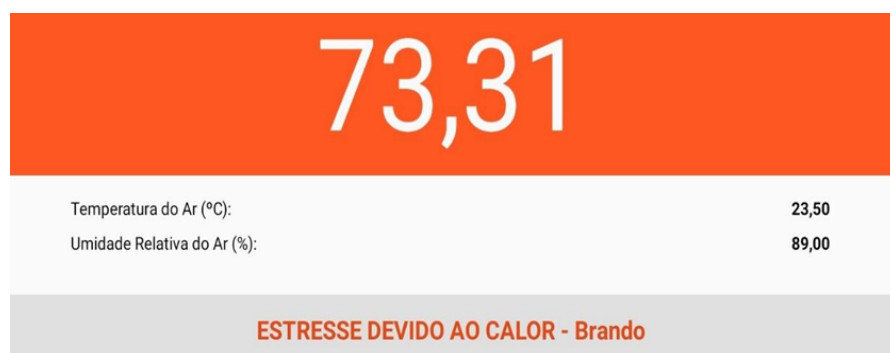
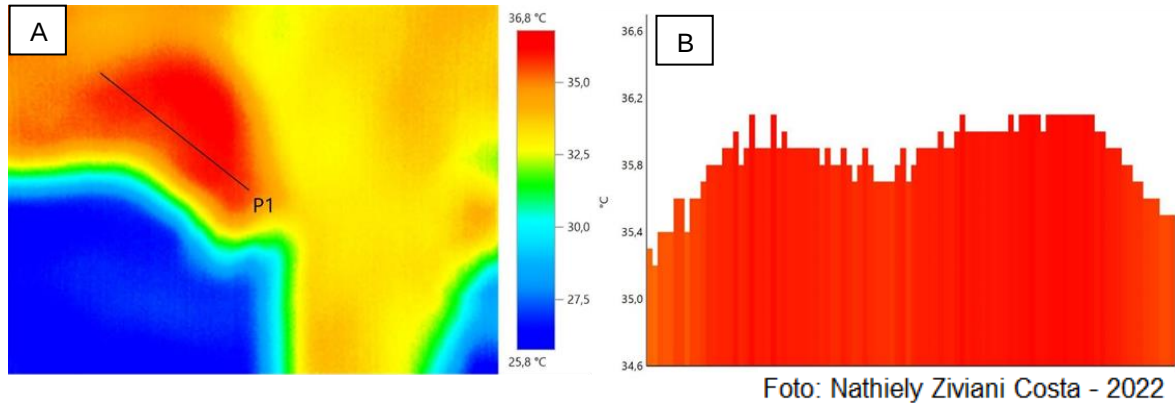


Foto: Nathiely Ziviani Costa - 2022

Quando localizadas situações em que a temperatura ambiente excede esses valores, há uma redução gradativa na eficácia dos meios de dissipação de calor, fazendo com que o animal entre em condição de estresse térmico, alterando, por conseguinte, a sua produção de leite diária. E, ao associar o uso da câmera termográfica e o *software* IRSoft®, notamos que os animais apresentaram valores de TSC médio de 29,9°C, concordando com o diagnóstico obtido pelo Aplicativo Orvalho®. As imagens foram analisadas pelo *software* IRSoft® e para obtenção da temperatura superficial do úbere (TSU) foi empregada a ferramenta “perfil de temperatura” e “histograma” (Figura 9).

Figura 9 (A; B) - Imagem obtida por meio da câmera de infravermelho e analisada no *software* IRSoft®, com A) área de análise P1 (úbere) selecionada por meio da ferramenta “perfil de temperatura” e B) histograma com padrão de temperatura da área P1 (úbere)



Nota-se que a CCS é empregada como indicador da resposta inflamatória da glândula mamária por estar diretamente associada às quedas de produção e alterações nas propriedades das características do leite. No entanto, não é o único fator considerado para diagnóstico de novos casos, uma vez que os patógenos apresentam respostas imunológicas pontuais dependendo da severidade e adaptação a sobreviverem na glândula mamária. Em geral, uma vaca acometida pode apresentar aumento da temperatura de superfície de úbere e inflamação, com sensibilidade ao toque e inchaço do quarto mamário. Assim, o quarto mamário inflamado foi identificado através da medição da radiação infravermelha emitida pelo sensor e sua intensidade depende do grau de acometimento (Figura 10).

Figura 10 (A; B) - Leitura para diagnóstico precoce de mastite clínica e subclínica, sendo: A) realização da leitura e B) recebimento dos dados pelo aplicativo *Termite 3.4*

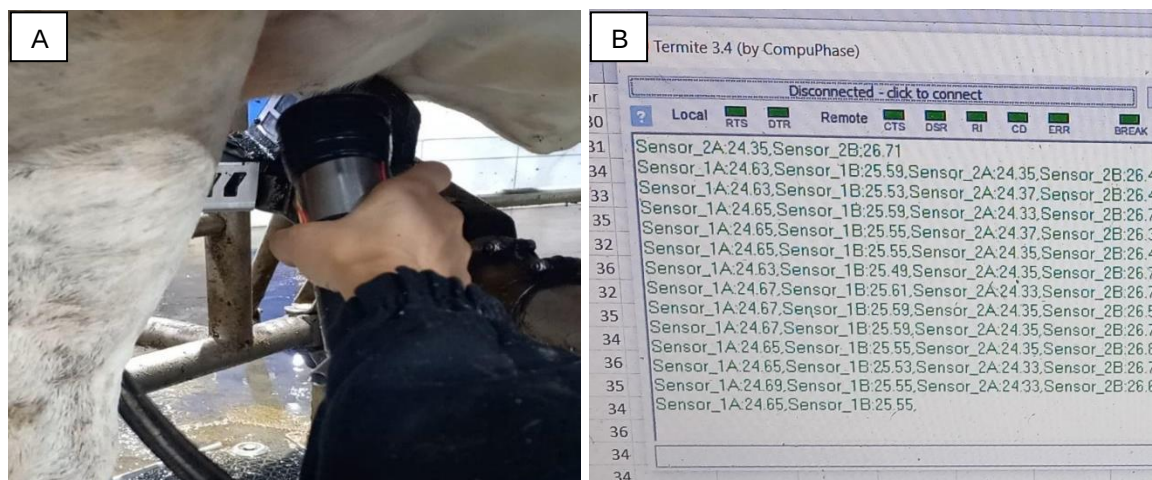


Foto: Nathiely Ziviani Costa - 2022

De modo a endossar os valores do dispositivo sensorial, os animais foram submetidos à leitura por termômetro laser infravermelho OMEGA®, em Grau Celsius (°C), com uma distância de 30 centímetros (Figura 11) e fotografados com uma câmera termográfica Flir® respeitando o mesmo distanciamento.

Figura 11 - Medição da temperatura superficial do úbere (TSU) com termômetro laser infravermelho OMEGA®



Foto: Nathiely Ziviani Costa - 2022

Para análise dos efeitos do ambiente sobre a temperatura de úbere, os dados obtidos pelos três equipamentos foram avaliados através da análise estatística descritiva. Os equipamentos de análise sensíveis à temperatura da pele e do úbere, sofreram variações diárias sob diferentes condições ambientais e período do dia (Tabela 1). Berry et al. (2013) também relataram correlações positivas entre as temperaturas mensuradas nos animais e a temperatura ambiente.

Tabela 1 - Estatística descritiva dos equipamentos de aferição dos períodos matutino (7h00 às 10h30) e vespertino (14h00 às 17:30), momentos da ordenha

	Equipamento	Temperatura Média (°C)
Média	Câmera Termográfica	33,30
	Sensor Mastite	26,40
	Termômetro Infravermelho	33,10
Desvio-padrão ($\pm$)	Câmera Termográfica	1,04
	Sensor Mastite	2,64
	Termômetro Infravermelho	1,01
Período matutino	Câmera Termográfica	31,70
	Sensor Mastite	16,90
	Termômetro Infravermelho	30,80
Período vespertino	Câmera Termográfica	35,50
	Sensor Mastite	32,90
	Termômetro Infravermelho	35,30

Fonte: Autoria própria.

A aferição da temperatura da superfície de úbere pelo sensor possibilitou o diagnóstico precoce, contribuindo para o emprego do tratamento de forma correta e eficaz (Tabela 2). Corroborando com Nogueira et al. (2013) que observaram que houve relação significativa entre as temperaturas superficiais das glândulas e alterações específicas do tecido glandular, uma vez que o calor é um dos sinais da inflamação.

Tabela 2 - Estatística descritiva das vacas sadias e pré diagnosticadas com mastite subclínica pelo sensor, nos períodos matutino (7h00 às 10h30) e vespertino (14h00 às 17:30), momentos da ordenha

	Vacas	Temperatura (°C)
Média	Mastite	28.5
	Sadia	26.4
Desvio-padrão ($\pm$)	Mastite	0.682
	Sadia	2.64
Período matutino	Mastite	27.0
	Sadia	16.9
Período vespertino	Mastite	29.3
	Sadia	32.9

Fonte: Autoria própria.

Observa-se que os valores obtidos divergiram entre os quartos do úbere e pela categoria animal, sendo maiores nas primíparas provavelmente associadas a maior produção de leite. Os resultados do presente estudo concordaram com os valores obtidos por Passini et al. (2018), que apresentaram diferença de 0,7°C entre primíparas e multíparas na temperatura superficial de úbere. Contudo, realizou-se a ANOVA e verificou-se um p valor < 0,05. Desta forma, fez-se o Teste de *Tukey* (Tabela 3), onde notou-se uma diferença significativa entre as médias ($p < 0,05$) e o sensor se mostrou eficaz na identificação dos casos (Figura 12).

Tabela 3 - Teste de *Tukey* com os dados de temperatura superficial de úbere (TSU, °C) em vacas sadias e diagnosticadas com mastite subclínica

		Mastite	Sadia
Mastite	Diferença média	—	2.13
	p-value	—	< .001
Sadia	Diferença média	—	—
	p-value	—	—

Nota: $p < .05$ entre as linhas: diferença significativa. F: 20.1
ITU mínimo: F=42.6 e ITU máximo: F=187

Fonte: Autoria própria.

Figura 12 - Descritiva de grupo da temperatura superficial de úbere (TSU, °C) das vacas sadias e diagnosticadas com mastite aferidas pelo sensor

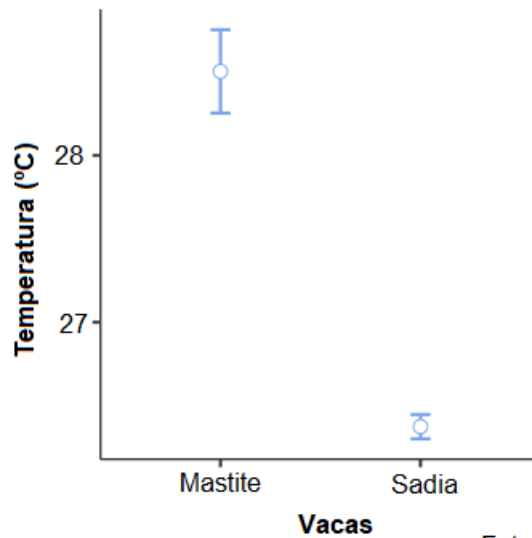


Foto: Nathiely Ziviani Costa - 2022

Concordando com o estudo realizado por Metzner et al. (2014), as vacas que apresentaram o úbere mais sujo com o material da cama, tiveram seus termogramas afetados negativamente. Salienta-se que os estudos que avaliaram animais molhados na sala de espera por meio da utilização de aspersores, limpando previamente o úbere, não tiveram seus dados influenciados.

3.5 CONCLUSÕES

O dispositivo para detecção de mastite se mostrou uma tecnologia promissora para o diagnóstico nos estágios iniciais da doença, baseado no princípio de que os processos inflamatórios geram calor e os sensores captam essas temperaturas e os fatores extrínsecos. Contudo, o manejo das instalações, o horário e o local da coleta tiveram efeito sobre a temperatura do úbere.

REFERÊNCIAS

- ANDRÉ, G.; BERENTSEN, P. B. M.; ENGEL, B.; DE KONING, C. J. A. M.; LANSINK, A. O. Increasing the revenues from automatic milking by using individual variation in milking characteristics. *Journal of Dairy Science*, v.93, n.3, p.942-953, 2010.
- BACH, A.; CABRERA, V. Robotic milking: Feeding strategies and economic returns. *Journal of Dairy Science*, v.100, n.9, p.7720-7728, 2017.
- BERRY, R.J.; KENNEDY, A.D.; SCOTT, S.L.; SCHAEFER, A.L. Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: potential for mastitis detection. *Canadian Journal of Animal Science*, 83, 687-693, 2003.
- CASTRO, A.; PEREIRA, J. M.; AMIAMA, C.; BUENO, J. Estimating efficiency in automatic milking systems. *Journal of Dairy Science*, v.95, n.2, p.929-936, 2012.
- CATTANEO, M.A.G.; CAVALCHINI, A.G.; ROGONOI, G.L. Design and construction of a robotic milking system. In: *International Conference On Computers in Agriculture*, ed.6, 1996, Cancun, México. Proceeding, Cancun, México: Amercian Society of Agricultural Enginneers, p.155, 1996.
- CLARK, C. E. F.; KWINTEN, N. B. P.; VAN GASTEL, D. A. J. M.; KERRISK, K. L.; LYONS, N. A.; GARCIA, S. C. Differences in voluntary cow traffic between Holstein and llawarra breeds of dairy cattle in a pasture-based automatic milking system. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v.27, n.4, p.587, 2014.
- COSTA, E. Importância da mastite na produção leiteira do país. *Revista Educação Continuada*, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 3-9, 1998.
- COSTA, E.; GARINO JÚNIOR, F.; MELVILLE, P.A.; RIBEIRO, A.R.; SILVA, J.A.B.; WATANABE, E.T.; VALLE, C.R. Estudo da etiologia das mastites bovinas nas sete principais bacias leiteiras do Estado de São Paulo. *Napgama*, São Paulo, v. 3, n. 4, p. 6-13, 2000.
- DEMING, J. A.; BERGERON, R.; LESLIE, K. E.; DEVRIES, T. J. Associations of housing, management, milking activity, and standing and lying behavior of dairy cows milked in automatic systems. *Journal of Dairy Science*, v.96, n.1, p.344-351, 2013.
- DRACH, U.; HALACHMI, I.; PNINI, T., IZHAKI, I.; DEGANI, A. Automatic herding reduces labour and increases milking frequency in robotic milking. *Biosystems Engineering*, v.155, p.134-141, 2017.
- FUQUAY, J.W. Heat stress as it affects animal production. *Journal of Animal Science*, v.52, p.164-182, 1981.

HARPER, M. T.; OH, J.; GIALLONGO, F.; LOPES, J. C., WEEKS, H. L.; FAUGERON, J.; HRISTOV, A. N. Preference for flavored concentrate premixes by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.99, n.8, p.6585-6589, 2016.

HOGAN, J. S.; SMITH, K.L.; HOBLET, K.H.; SCHOENBERGER, P.S.; TODHUNTER, D.A.; HUESTON, W.D.; PRITCHARD, D.E.; BOWMAN, G.L.; HEIDER, L.E.; BROCKETT, B.L.; CONRAD, H.R. Field survey of clinical mastitis in low somatic cell count herds. *Journal of Dairy Science*, Wooster, v. 72, n. 6, p. 1547-1556, 1989.

JACOBS, J. A.; SIEGFORD, J. M. Lactating dairy cows adapt quickly to being milked by an automatic milking system. *Journal of Dairy Science*, v.95, n.3, p.1575-1584, 2012.

MACULAN, R.; LOPES, M. A. Ordenha robotizada de vacas leiteiras: uma revisão. *Boletim de Indústria Animal*, v.73, n.1, p.80-87, 2016.

MADSEN, J.; WEISBJERG, M. R.; HVELPLUND, T. Concentrate composition for automatic milking systems-Effect on milking frequency. *Livestock Science*, v. 127, n.1, p.45-50, 2010.

METZNER, M.; SAUTER-LOUIS, C.; SEEMUELLER, A.; Petzl, W.; Klee, W. Infrared thermography of the udder surface of dairy cattle: Characteristics, methods, and correlation with rectal temperature. *The Veterinary Journal*, v. 199, n.1, p.57-62, 2014.

MIGLIORATI, L.; SPERONI, M.; LOLLI, S.; CALZA, F. Effect of concentrate feeding on milking frequency and milk yield in an automatic milking system. *Italian Journal of Animal Science*, v.4, n.2, p.221-223, 2005.

MUNKSGAARD, L.; RUSHEN, J.; DE PASSILLÉ, A. M.; KROHN, C. C. Forced versus free traffic in an automated milking system. *Livestock Science*, v.138, n.1, p.244-250, 2011.

NOGUEIRA, F.R.B.; SOUZA, B.B.; CARVALHO, M.G.X.; GARINO JUNIOR, F.; MARQUES, A.V.M.S.; LEITE, R.F. Termografia infravermelha: uma ferramenta para auxiliar no diagnóstico e prognóstico de mastite em ovelha. *Revista Brasileira de Medicina Veterinária*. 35(3):289-297, 2013.

PARK, Y.H.; JACOBSON, N. Glândula mamária e lactação. In: SWENSON, M.J.; REECE, W. O. *Fisiologia dos animais domésticos*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996, p.645-659.

PASSINI, R.; AIRES, C. C. A.; CAMPOS, J. C. D.; AKAMINE, L. A. Termografia infravermelha como ferramenta no diagnóstico de mastite subclínica em bovinos leiteiros. IV Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG, Companhia de Editora de Pernambuco, PE, 2018.

PEREIRA, A.R. Contagem de células somáticas e características produtivas de vacas em lactação da raça holandesa. Piracicaba, 2000. 53p. Dissertação

(Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

PHILPOT, W.N. Importância da contagem de células somáticas e outros fatores que afetam a qualidade do leite. In: Simpósio Internacional Sobre Qualidade Do Leite, Curitiba, v. 1, p. 28-35, 1998.

RADOSTITS, O.M.; GAY, C.C.; BLOOD, D.C.; HINCHCLIFF, K.W. Clínica Veterinária. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan S.A., v. 9, p. 288-298, 2000.

RODENBURG, J. Feeding the Robotic Milking Herd. e-Commons Cornell's digital repository, 2017a. Disponível em: <<https://ecommons.cornell.edu/handle/1813/48024>>. Acesso em: 24 de julho de 2022.

RODENBURG, J. Robotic milking: Technology, farm design, and effects on work flow. Journal of Dairy Science, v.100, n.9, p.7729-7738, 2017b.

ROENFELDT, S. You can't afford to ignore heat stress. Dairy Manage, v.35, n.5, p.6-12, 1998.

SALFER, J.; ENDRES, M. Feeding practices on farms with automatic milking systems. In: Penn State Dairy Cattle Nutrition Workshop, 2016, Pennsylvania Proceedings, State College: Pennsylvania State University, p.99-103, 2016.

VIJAYAKUMAR, M.; PARK, J. H.; KI, K. S.; LIM, D. H.; KIM, S. B.; PARK, S. M.; JEONG, H. Y.; PARK, B. Y.; KIM, T. II. The effect of lactation number, stage, length, and milking frequency on milk yield in Korean Holstein dairy cows using automatic milking system. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, v.30, n.8, p.1093, 2017.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que os parâmetros climáticos apresentam variações entre estações de ano, relatando correlações positivas entre o índice mensurado e as temperaturas aferidas com o auxílio da termografia infravermelha.

O dispositivo portátil desenvolvido permitiu identificar diferenças de temperaturas entre os quartos mamários saudáveis daqueles acometidos com mastite bovina, havendo diferença significativa entre as temperaturas superficiais das glândulas e alterações específicas do tecido glandular.

Com a importância que o bem-estar tem assumido nos mais diversos campos da produção animal, tornou-se imprescindível a utilização de técnicas e equipamentos não invasivos para precisar o impacto dos fatores ambientais e prezem pelo conforto animal, dando suporte à decisão do produtor.

REFERÊNCIAS

- BACH, A.; CABRERA, V. Robotic milking: Feeding strategies and economic returns. *Journal of Dairy Science*, v.100, n.9, p.7720-7728, 2017.
- NÄÄS, I.A.; FIALHO, F.B. Zootecnia de Precisão: Aplicação na Produção de leite. In: Silva, I.J.O. *Ambiência na produção de leite em clima quente*. Fealq. Piracicaba. 201p. 1998.
- PASSINI, R.; AIRES, C. C. A.; CAMPOS, J. C. D.; AKAMINE, L. A. Termografia infravermelha como ferramenta no diagnóstico de mastite subclínica em bovinos leiteiros. IV Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG, Companhia de Editora de Pernambuco, PE, 2018.
- PERISSINOTTO, M.; MOURA, D. J.; CRUZ V. F.; SOUZA, S. R. L.; LIMA, K. A. O.; MENDES, A. S. Conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em clima subtropical e mediterrâneo pela análise de parâmetros fisiológicos utilizando a teoria dos conjuntos fuzzy. *Ciência Rural*, v.39, p.1492-1498, 2009.