

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

MARCOS VINÍCIUS DA SILVA

**Caracterização de fatores abióticos e conforto térmico de vacas girolando confinadas em sistemas *compost barn* no semiárido brasileiro**

RECIFE

2023

MARCOS VINÍCIUS DA SILVA

**Caracterização de fatores abióticos e conforto térmico de vacas girolando confinadas em sistemas *compost barn* no semiárido brasileiro**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, sob orientação do Prof. Dr. Héilton Pandorfi, para obtenção do título de doutor.

RECIFE

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S586c

Silva, Marcos Vinícius da

Caracterização de fatores abióticos e conforto térmico de vacas girolando confinadas em sistemas compost barn no semiárido brasileiro / Marcos Vinícius da Silva. - 2023.

145 f. : il.

Orientador: Heliton Pandorfi.

Inclui referências.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, 2023.

1. Coeficiente de Correlação Cofenética. 2. imagens térmicas. 3. temperatura da cama. 4. temperatura da pele. 5. temperatura vaginal. I. Pandorfi, Heliton, orient. II. Título

CDD 630

---

**MARCOS VINÍCIUS DA SILVA**

**Caracterização de fatores abióticos e conforto térmico de vacas girolando confinadas em sistemas *compost barn* no semiárido brasileiro**

Tese defendida e aprovada em 21 de julho de 2023 pela banca examinadora:

Orientador:



---

Prof. Dr. Héilton Pandorfi

Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE/DTR)

Examinadores:



---

Prof. Dr. Gledson Luiz Pontes de Almeida

Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE/DTR)



---

Prof. Dr. Alex Souza Moraes

Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)



---

Prof. Dr. Iran José Oliveira da Silva

Universidade de São Paulo (USP/ESALQ)



---

Prof. Dr. José Antonio Delfino Barbosa Filho

Universidade Federal do Ceará (UFC)

*“O homem erudito é um descobridor de fatos que já existem, mas, o homem sábio é um criador de valores que não existem e que ele faz existir”*

Albert Einstein

Á Deus, pois o senhor é o início, o meio e o fim;

Ao meu pai Francisco da Silva, o senhor hoje não está neste plano, mas eu sei que de onde o senhor estiver, está feliz por mais essa etapa que concluo em minha vida;

A minha mãe Maria Aparecida Diniz da Silva, a senhora é minha base;

A minha irmã Eulla Gabriela da Silva;

A minha namorada Maria Beatriz Ferreira;

Ao meu irmão Saul Marcelino de Melo Júnior;

Aos meus amigos que me apoiaram nesta jornada;

E a tantos outros que me apoiaram direta e indiretamente nesta jornada.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por todos os desafios e superações que o senhor traçou nesta minha jornada de 6 anos, sendo dois de mestrado e quatro de doutorado, pois neste tempo aprendi, errei, sofri e evolui como ser humano e como pesquisador. Sou muito grato ao senhor, por ter colocado em minha vida pessoas maravilhosas e que sempre buscaram me ajudar a crescer mais e mais. Agradeço aos momentos difíceis que passei, principalmente aos que cogitei de desistir do meu doutoramento, pois as dificuldades impostas em minha vida, possibilitou eu evoluir e ser mais forte.

Agradeço a minha mãe Maria Aparecida Dinis da Silva e ao meu pai Francisco da Silva, pois cada passo, cada degrau escalado e cada vitória conquistada, é com o meu pensamento em vocês, pois sempre me apoiaram em minhas escolhas. Mesmo em tamanhas dificuldades, sempre renunciaram a me ajudar e é a vocês, quem eu mais devo nesta vida e que um dia possa retribuir por tudo que fizeram e tem feito por mim. Agradeço a minha irmã Eulla Gabriela da Silva, por sempre me apoiar em minhas escolhas e torcer pelo meu sucesso, sempre apoiamos e torcemos para o sucesso do outro.

Agradeço a minha companheira e namorada Maria Beatriz Ferreira, neste último ano você se tornou minha base, minha amiga e minha conselheira, e sempre me deu bons conselhos, assim como me ajudou em momentos difíceis e decisivos. Você é a minha Lua, meu apoio e a pessoa quem eu tenho maior confiança em depositar meus sonhos e segredos, e é a minha inspiração. Obrigado por me apoiar nos bons e maus momentos que passei no último ano de meu doutoramento e por estar sempre presente quando eu mais precisei.

Agradeço aos meus amigos Luiz Augusto, Guaraci Machado e ao meu irmão de outra mãe Saul Júnior, que quando eu soube que havia passado no mestrado e posteriormente no doutorado em Engenharia Agrícola em Recife, foram vocês que me deram um apoio moral e me encorajaram a vir e a dicar em Recife. Como já dizia Platão "A amizade é uma predisposição recíproca que torna dois seres igualmente ciosos da felicidade um do outro", assim foram vocês comigo, sempre quiseram meu bem e sempre estão torcendo por mim, nisso eu acredito, porque deste crianças apoiamos uns aos outros, nos bons e maus momentos e sempre nos ajudando.

Agradeço ao meu Orientador Héilton Pandorfi, por toda orientação fornecida nestes últimos 4 anos, orientação não só acadêmica, mas também de vida, que contribuiu significativamente para me tornar o profissional que sou hoje. Mesmo diante das correrias diárias, de suas atividades como professor, nunca deixou de estender a mão para me ajudar. O

senhor possui a qualidade de um profissional completo pela paciência, atenção e dedicação com seus orientados. Você é um dos maiores profissionais que já tive o prazer de conhecer e a honra de poder trabalhar ao seu lado. Que Deus interceda sempre em sua vida e lhe abençoe.

Agradeço ao professor Gledson Luiz Pontes de Almeida, o senhor foi um dos maiores profissionais que já tive o prazer de conhecer e a honra de poder trabalhar ao seu lado. O senhor tem o dom de fazer coisas difíceis, se tornarem fáceis e além de passar confiança aos seus alunos.

Agradeço ao meu amigo o doutor Jhon Lennon Bezerra da Silva, pela amizade feita na academia, você é um grande amigo a quem tenho admiração e agradecimentos, a todo instante me ajudou e ajuda com conselhos. Além de um grande amigo, é um parceiro e profissional que me ajuda em minhas publicações científicas, agradeço também por me apresentar e me ensinar as principais ferramentas do Sensoriamento Remoto, e por sempre está lembrando de mim e me convidando para contribuir em suas publicações. Uma amizade feita na academia, mas que é para o resto da vida!

Agradeço ao Grupo de Pesquisa em Ambiência UFRPE – GPESA por todo apoio que me deram nestes dois últimos anos, além de um grupo vocês se tornaram uma família para mim, onde guardarei cada um em meu coração, pelos simples gestos que sempre fizeram nos momentos de alegria e tristeza.

A Pedro Henrique Dias Batista por ser o primeiro integrante desta família que eu conheci e nestes seis anos se tornou um grande amigo, por sempre trazer alegria ao laboratório e em momentos de aflição do pessoal, sempre sugerir uma distração, seja num boliche ou um cinema.

A Nicolly Farias Gomes por ser uma das pessoas que a maior autoestima que eu já conheci, por transmitir a felicidade no laboratório.

A Sávio Duarte Lopes Cavalcanti que mesmo durante as ausências de dias até semanas, é uma pessoa que transmite uma alegria ao laboratório e sempre que presente, está à disposição dos amigos.

A Taize Calvacante Santana que sempre traz a conversa ao laboratório, por conseguir quebrar o gelo do silêncio e trazer alegria ao pessoal.

A Cleide e ao seu Plínio pela alegria que sempre trazem ao prédio Ronaldo Freire.

Agradeço também a coordenação da Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo consentimento da bolsa, pois sem ela não seria possível meu doutorado.



Agradeço a Universidade Federal Rural de Pernambuco, pelo apoio e por me proporcionar a formação de doutor em Engenharia Agrícola.

Agradeço a banca que compõem minha defesa de tese por todas as contribuições que me deram em todas as fases de meu doutorado e para a construção de minha tese.

Fecho os meus agradecimentos ao senhor meu Deus, o senhor é início, o meio e o fim, e ao senhor só tenho a agradecer, pois sem o senhor em minha vida, me iluminando e me guiando, eu não teria concluído meu doutorado. Durante o período de meu doutoramento, no ano de 2020, eu tive o que considero o maior desafio de minha vida, que foi ajudar o meu pai na luta contra um câncer, nesta época tudo o que tinha em mente era desistir do doutorado e trabalhar. Mas, os planos de Deus foram outros, e meu pai em hipótese nenhuma queria que eu abandonasse meu sonho, diante disso retornei à minha cidade natal em Goiás, aproveitando o período de isolamento contra a pandemia da COVID-19, fiz as disciplinas que faltava para o cumprimento dos créditos a distância e ao mesmo tempo cuidava de meu pai. Infelizmente sua luta contra o câncer não teve sucesso. Mais uma vez me vi em uma situação de desistência de meu doutoramento, no qual, eu, minha mãe e minha única irmã encontrávamos em uma situação financeira baixíssima, e o dinheiro de minha bolsa mal ajudava minha família, minha mãe desempregada e minha irmã ganhando muito menos que um salário-mínimo, tudo naquele momento que parecia ser o certo era desistir do doutoramento e trabalhar, mas novamente aos planos de Deus contornamos a situação, para eu poder concluir meu doutoramento. E neste processo eu carreguei comigo um trecho de um belíssimo filme, que sempre que pensava em desistir o senhor meu Deus foi a minha base, e eu ouvi sempre esse trecho:

*Por que coisas ruins acontecem com pessoas boas?*

*Para responder isso seria preciso conhecer o desconhecido a mente do próprio Deus. As vezes o significado de uma tragédia é difícil de se compreender, mas, se alguém tem fé, tudo tem um significado.*

*Eu pedi força, e Deus me deu dificuldades para me tornar forte.*

*Eu pedi sabedoria, e Deus me deu problemas para resolver.*

*Eu pedi coragem, e Deus me deu perigos para superar.*

*Eu pedi amor, e Deus me deu pessoas com problemas para ajudar.*

O meu muito obrigado a todos e todas.

## Sumário

CAPÍTULO I: Introdução geral, revisão bibliográfica e material e métodos geral .....	15
Resumo .....	16
Abstract.....	18
1. Introdução.....	20
2. Objetivos .....	23
3.1. Geral .....	23
3.2. Específicos .....	23
4. Hipóteses .....	24
5. Revisão de literatura.....	25
5.1. Características climáticas do semiárido brasileiro e seus impactos na bovinocultura leiteira .....	25
5.2. Interação fatores abióticos, índices de conforto térmico e fisiologia animal .....	25
5.3. Bem-estar na bovinocultura leiteira .....	27
5.4. Sistema compost barn: processos e manejo da cama.....	30
5.5. Modelagem animal e análise de dados voltados a ambiência animal.....	32
6. Material e métodos .....	35
6.1. Caracterização da área experimental .....	35
6.2. Caracterização do Sistema Compost Barn (SCB) .....	36
6.2.1. Município de Lajedo – Pernambuco (instalação 1) .....	36
6.2.2. Município de Quixadá – Ceará (instalação 2).....	37
6.3. Caracterização micrometeorológica do SCB .....	38
6.3.1. Município de Lajedo – Pernambuco (instalação 1) .....	39
6.3.2. Município de Quixadá – Ceará (instalação 2).....	41
6.4. Caracterização fisiológica dos animais e da cama do sistema compost barn (SCB).....	41
6.4.1. Município de Lajedo – Pernambuco (instalação 1) .....	41
6.4.2. Município de Quixadá – Ceará (instalação 2).....	44
6.5. Análises estatísticas .....	44
6.5.1. Estatística descritiva .....	44
6.5.2. Modelagem geoestatística .....	45
6.5.3. Análise de agrupamento (AA) e aplicação do Coeficiente de Correlação Cofenética (CCC).....	46

6.5.4. <i>Análise de componentes principais (ACP), correlação por componentes principais (CCP) e correlação de Pearson</i> .....	48
6.5.5. <i>Modelo de regressão múltipla e regressão não linear</i> .....	48
7. Referências.....	49
CAPÍTULO II: Variabilidade espacial e inferência exploratória de fatores abióticos no confinamento compost barn para bovinos no semiárido .....	
Resumo .....	63
Abstract.....	64
<b>1. Introdução</b> .....	65
2. Material e métodos .....	66
2.1. <i>Área experimental e coleta de dados</i> .....	66
2.2. <i>Análise estatística</i> .....	70
3. Resultados e discussão .....	72
4. Conclusões .....	84
5. Agradecimentos.....	85
6. Referências .....	85
CAPÍTULO III: Variabilidade espacial da temperatura de pelame de vacas leiteiras em um sistema compost barn no semiárido brasileiro.....	
Resumo .....	91
Abstract.....	92
<b>1. Introdução</b> .....	93
<b>2. Material e métodos</b> .....	94
2.1. <i>Caracterização da área de estudo</i> .....	94
2.2. <i>Aquisição e análise das imagens</i> .....	96
2.3. <i>Caracterização meteorológica da instalação compost bar</i> .....	98
2.4. <i>Análises estatísticas e geoestatísticas</i> .....	100
3. Resultados e discussão .....	102
4. Conclusões .....	111
5. Agradecimentos.....	111
6. Referências .....	112
CAPÍTULO IV: Modelagem da temperatura vaginal em vacas da raça Holandesa e análise de agrupamento por coeficiente de correlação cofenética.....	
Resumo .....	117
Abstract.....	119

<b>1. Introdução</b> .....	120
<b>2. Material e métodos</b> .....	121
2.1. <i>Caracterização da área de estudo</i> .....	121
2.2. <i>Caracterização da instalação compost barn</i> .....	122
2.3. <i>Composição alimentar dos animais avaliados</i> .....	124
2.4. <i>Caracterização do lote de animais estudados</i> .....	125
2.5. <i>Caracterização micrometeorológica da instalação compost barn</i> .....	126
2.6. <i>Registro da temperatura vaginal dos animais</i> .....	127
2.7. <i>Análises estatísticas</i> .....	127
2.7.1. <i>Estatística descritiva</i> .....	128
2.7.2. <i>Análise de agrupamento (AC) pelo Coeficiente de Correlação Cofenética (CCC)</i> 128	
2.7.3. <i>Análise de regressão múltipla</i> .....	128
<b>3. Resultados e discussão</b> .....	129
<b>4. Conclusões</b> .....	138
<b>5. Agradecimentos</b> .....	139
<b>6. Referências</b> .....	139
<b>1. Considerações finais</b> .....	145

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Localização geográfica das fazendas de produção de leite em Quixadá (CE) e Lajedo (PE), seguido da caracterização climática por Köppen-Geiger, elevação topográfica via Shuttle Radar Topography Mission (SRTM, 30 m) e localização da unidade de produção com o sistema compost barn em Quixadá (A, B, C e D) e Lajedo (E, F, G e H).....	36
<b>Figura 2.</b> Croqui da área de estudo de confinamento dos animais. ....	37
<b>Figura 3.</b> Frontal da instalação SCB (A); croqui da área de confinamento dos animais (B). .	38
<b>Figura 4.</b> Aparelho AmbienceLab para registro das variáveis meteorológicas e índice de conforto térmico. ....	39
<b>Figura 5.</b> Fluxograma representativo do funcionamento do AmbienceLab e da programação empregada.....	40
<b>Figura 6.</b> Regiões do corpo do animal selecionadas para extração da matriz de temperatura de pelame (A); matriz amostral de 45 x 95 mm (B).....	43
<b>Figura 7.</b> Localização da propriedade produtora de leite. ....	67
<b>Figura 8.</b> Croqui da área de estudo de confinamento dos animais (A); representação da malha amostral (B).....	68
<b>Figura 9.</b> Caracterização climática do ambiente externo no período de 29/01/2020 a 29/02/2020.....	69
<b>Figura 10.</b> Mapas de krigagem da temperatura do ar ( $T_{ar}$ , °C) nos horários de 9:00 (A), 12:00 (C) e 15:00 h (E), respectivamente; temperatura da cama ( $T_c$ , °C) nos horários de 9:00 (B), 12:00 (D) e 15:00 h (F), respectivamente; umidade relativa (UR, %) nos horários de 9:00 (G), 12:00 (I) e 15:00 h (K), respectivamente; velocidade dos ventos ( $V_v$ , $m\ s^{-1}$ ) nos horários de 9:00 (H), 12:00 (J) e 15:00 h (L), respectivamente; índice de temperatura e umidade (ITU) nos horários de 9:00 (M), 12:00 (O) e 15:00 h (Q), respectivamente; iluminância (Lux, lux) nos horários de 9:00 (N), 12:00 (P) e 15:00 h (R), respectivamente. ....	76
<b>Figura 11.</b> Temperatura da pele ( $T_p$ ) dos animais 1, 2 e 3 referentes às 9:00 h (A, B e C, respectivamente) e 15:00 h (D, E e F, respectivamente) em sistema Compost Barn.....	79
<b>Figura 12.</b> Análise de Componentes Principais (ACP), para as variáveis meteorológicas e temperatura da cama (TB) do sistema Compost Barn, nos horários de 9:00 (A), 12:00 (B) e 15:00 (C) h, correlação de Pearson das variáveis para todos os horários (D). ....	81
<b>Figura 13.</b> Modelo de regressão linear gerado com base no modelo estabelecido por Berman et al. (2016). Intervalos delimitados pela linha tracejada em cores cinza e vermelho representam	

as condições de conforto moderado e crítico, respectivamente, para os animais em sistema Compost Barn.....	83
<b>Figura 14.</b> Localização da área de estudo, vista frontal da instalação (A); vista traseira e leito do sistema compost barn (B); registro das imagens termográficas (C); registro da temperatura e umidade no momento da coleta das imagens (D).....	95
<b>Figura 15.</b> Croqui da área de estudo de confinamento dos animais.....	96
<b>Figura 16.</b> Regiões do corpo do animal selecionadas para extração da matriz de temperatura de pelame (A); matriz amostral de 45 x 95 mm (B).....	98
<b>Figura 17.</b> Aparelho AmbienceLab para registro das variáveis meteorológicas e índice de conforto térmico.....	99
<b>Figura 18.</b> Fluxograma representativo do funcionamento do AmbienceLab e da programação empregada.....	100
<b>Figura 19.</b> Caracterização meteorológica (umidade relativa, precipitação e temperatura) da unidade de produção Compost Barn.....	102
<b>Figura 20.</b> Caracterização meteorológica interna a instalação compost barn, no período de registro das imagens térmicas.....	104
<b>Figura 21.</b> Mapas de Krigagem da temperatura da pele (°C) dos 3 animais amostrados, criados em sistema “Compost Barn”, no horário das 9:00 h (manhã) e 15:00 h (tarde) da matriz amostral de 45 x 95 mm.....	110
<b>Figura 22.</b> Localização geográfica da fazenda com sistema compost barn. Polígono do sistema compost barn (A); vista frontal do sistema compost barn (B); vista lateral da instalação (C); vista do fundo da instalação compost barn (D).....	122
<b>Figura 23.</b> Vista frontal da instalação compost barn (A); croqui da área de confinamento dos animais (B).....	123
<b>Figura 24.</b> Caracterização das condições médias do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) para a instalação compost barn.....	131
<b>Figura 25.</b> Caracterização da temperatura vaginal média das vacas leiteiras.....	133
<b>Figura 26.</b> Análise de agrupamento via heatmap com base no método de ligação simples para as variáveis ambientais, índices de conforto e fisiológica.....	136
<b>Figura 27.</b> Estimativa da temperatura vaginal em função de suas variáveis preditoras, para o modelo 1 (A) - temperatura de ponto de orvalho (TPO, °C) e umidade relativa (UR, %) e modelo 2 (B) - temperatura do ar (T, °C) e temperatura de ponto de orvalho (TPO, °C).....	136
<b>Figura 28.</b> Valores observados versus o estimado do modelo 1 (A) e modelo 2 (B).....	138

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1.</b> Princípios, critérios e medidas da Welfare Quality® para a avaliação do bem-estar em vacas leiteiras.....	29
<b>Tabela 2.</b> Análise descritiva das variáveis ambientais, temperatura da cama do Sistema Compost Barn e índice de conforto. ....	72
<b>Tabela 3.</b> Modelo de semivariogramas e grau de dependência espacial (GDE) das variáveis ambientais, temperatura da cama do sistema Compost Barn e índice de conforto. ....	74
<b>Tabela 4.</b> Principal components of meteorological variables recorded inside the installation with Compost Barn.....	80
<b>Tabela 5.</b> Análise de variância do modelo de regressão estabelecido para $p \leq 0,05$ . ....	82
<b>Tabela 6.</b> Caracterização do índice de temperatura e umidade (ITU) e o índice de conforto animal (ICA).....	84
<b>Tabela 7.</b> Estatística descritiva da temperatura da canela ( $T_{can}$ , °C), temperatura do dorso ( $T_{dor}$ , °C), temperatura da cabeça ( $T_{cab}$ , °C), temperatura do úbere ( $T_{úbe}$ , °C) e temperatura de pelame (°C) de vacas leiteiras criadas em sistema “Compost Barn”, nos horários das 9:00 e 15:00 h. ....	104
<b>Tabela 8.</b> Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para a temperatura da canela ( $T_{can}$ , °C), temperatura do dorso ( $T_{dor}$ , °C), temperatura da cabeça ( $T_{cab}$ , °C), temperatura do úbere ( $T_{úbe}$ , °C) e temperatura de pelame ( $T_{pel}$ , °C) para os três animais, nos horários das 9:00 h e 15:00 h. ....	107
<b>Tabela 9.</b> Composição dos ingredientes e consumo da dieta fornecida às vacas em lactação. ....	124
<b>Tabela 10.</b> Características do lote de animais avaliados pelo número de partos, idade, produção (litros de leite. dia <sup>-1</sup> ) e DEL. ....	125
<b>Tabela 11.</b> Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão múltipla estabelecido para a temperatura de globo negro (TGN). ....	129
<b>Tabela 12.</b> Estatística descritiva dos valores de média, desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV), mínimo (Mín) e máximo (Máx), das variáveis ambientais, fisiológica e índice de conforto animal. ....	130
<b>Tabela 13.</b> Métodos de análise cluster empregados nas variáveis ambientais, fisiológica e índice de conforto animal, precedidos de seus respectivos coeficientes de correlação cofenética (CCC) e valor-p. ....	134

## CAPÍTULO I: Introdução geral, revisão bibliográfica e material e métodos geral

---



SILVA, M. V. **Caracterização de fatores abióticos e conforto térmico de vacas girolando confinadas em sistemas *compost barn* no semiárido brasileiro**. 2023. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE.

## Resumo

Objetivou-se avaliar a influência de fatores abióticos em vacas de leite alojadas em sistemas *compost barn* no semiárido brasileiro, por meio de modelagem de semivariogramas geoestatísticos e análise multivariada e, caracterizar o conforto térmico dos animais por análise de regressão múltipla. A pesquisa foi conduzida em duas fazendas comerciais de produção leiteira sob sistema *compost barn* (SCB), no estado de Pernambuco (instalação 1) e no Ceará (instalação 2), em regiões de clima de transição Aw e BSh. As instalações SCB possuem dimensões de 50 x 15 m, com sistema de ventilação axial do tipo tufão. O registro das variáveis meteorológicas na instalação 1 foi da temperatura de bulbo seco ( $T_{ar}$ ), da umidade relativa do ar (UR, %) e da temperatura de globo negro (TGN), e o índice de temperatura e umidade (ITU). Os dados foram registrados das 9:00 às 3:00 horas. Na instalação 2, registrou-se a  $T_{ar}$  e a UR com o uso de Data Logger. A velocidade do vento ( $V_v$ ) foi registrada por um anemômetro de hélice em 48 pontos, em um grid de 2,5 x 2,5 m, nos turnos da manhã e tarde. Foram registradas aleatoriamente imagens térmicas de três animais alojados na instalação 1, para determinação da temperatura da pele ( $T_{pe}$ ). A partir das imagens térmicas, extraiu-se matrizes de 10 x 20 (200 pixels), com espaçamento de 5 mm, representativo da região da cabeça, do dorso, do úbere e da canela de cada animal. A temperatura da cama ( $T_c$ , °C), na instalação 1, foi registrada por meio da câmera termográfica, totalizando 44 imagens para os horários das 9:00, 12:00 e 15:00 h. Enquanto na instalação 2, a  $T_c$  foi registrada por meio de um termômetro por infravermelho. Foi feito o registro da temperatura vaginal ( $T_v$ ) em quatro vacas primíparas e quatro múltíparas, por meio de data logger intravaginais. Os dados foram submetidos a estatística descritiva, modelagem geoestatística, análise de agrupamento (AA) por meio da aplicação do Coeficiente de Correlação Cofenética (CCC), análise de componentes principais (ACP), correlação por componentes principais (CCP) e correlação de Pearson e, por fim, estabelecido modelos de regressão múltipla e regressão não linear. A variabilidade espacial da  $T_c$  foi baixa para todos os horários estudados. A  $T_{ar}$  apresentou forte correlação com a  $T_c$ , devido ao processo de transferência de calor por convecção do piso para o ambiente. A geoestatística e a análise exploratória dos dados permitiu estabelecer um índice de conforto para sistemas de produção *Compost Barn* no semiárido brasileiro ( $R^2 = 0,996$ ;  $p < 0,0001$ ). O emprego da técnica de geoestatística possibilitou verificar a ocorrência de forte dependência espacial entre as

temperaturas da pele de vacas criadas dentro de uma instalação com sistema *compost barn*, sendo o modelo gaussiano o que apresentou o melhor ajuste dos dados ( $R^2 > 0,90$ ), para os turnos de registro da manhã e da tarde. O emprego do coeficiente de correlação cofenética (CCC) para o estabelecimento do melhor método de agrupamento, é viável. Os modelos de regressão para estimativa da  $T_v$  são promissores na caracterização do conforto térmico de vacas de leite confinadas em sistema *compost barn*.

**Palavras-chave:** Coeficiente de Correlação Cofenética; imagens térmicas; temperatura da cama; temperatura da pele; temperatura vaginal.

**SILVA, M. V. Characterization of abiotic factors and thermal comfort of Girolando cows confined in compost barn systems in the Brazilian semiarid.** 2023. Thesis (Ph.D. in Agricultural Engineering) - Federal Rural University of Pernambuco - UFRPE.

### **Abstract**

The objective of this study was to evaluate the influence of abiotic factors on dairy cows housed in compost barn systems in the Brazilian semiarid region through geostatistical semivariogram modeling and multivariate analysis, as well as to characterize the thermal comfort of the animals through multiple regression analysis. The research was conducted on two commercial dairy farms using compost barn systems (CBS) in the states of Pernambuco (installation 1) and Ceará (installation 2), in regions with Aw and BSh climate transitions, respectively. The CBS facilities had dimensions of 50 x 15 m and were equipped with axial ventilation systems of the typhoon type. Meteorological variables recorded at installation 1 included dry bulb temperature ( $T_{air}$ ), relative humidity (RH), black globe temperature (TGN), and the temperature-humidity index (THI). Data were recorded from 9:00 a.m. to 3:00 p.m. At installation 2,  $T_{air}$  and RH were recorded using a data logger. Wind speed (Ws) was measured using a propeller anemometer at 48 points on a 2.5 x 2.5 m grid during morning and afternoon shifts. Thermal images of three randomly selected animals housed at installation 1 were captured to determine the skin temperature ( $T_{skin}$ ). From the thermal images, 10 x 20 matrices (200 pixels) were extracted with a spacing of 5 mm, representing the head, back, udder, and shin regions of each animal. Bed temperature ( $T_{bed}$ , °C) at installation 1 was recorded using a thermal camera, totaling 44 images for the time points of 9:00 a.m., 12:00 p.m., and 3:00 p.m. In installation 2,  $T_c$  was measured using an infrared thermometer. Vaginal temperature ( $T_v$ ) was recorded in four primiparous and four multiparous cows using an intravaginal data logger. The data were subjected to descriptive statistics, geostatistical modeling, and cluster analysis (CA) using the Cophenetic Correlation Coefficient (CCC), Principal Component Analysis (PCA), Principal Component Correlation (PCC), Pearson correlation, and finally, multiple regression and nonlinear regression models were established. The spatial variability of  $T_{bed}$  was low for all studied time points.  $T_{air}$  showed a strong correlation with  $T_{bed}$  due to the convective heat transfer process from the floor to the environment. Geostatistics and exploratory data analysis allowed for the establishment of a comfort index for Compost Barn production systems in the Brazilian semiarid region ( $R^2 = 0.996$ ;  $p < 0.0001$ ). The use of geostatistical techniques revealed a strong spatial dependence between skin temperatures of cows housed in a compost barn installation, with the Gaussian model showing the best fit to the data ( $R^2 > 0.90$ ) for both morning and afternoon recording

shifts. The use of the Cophenetic Correlation Coefficient (CCC) for determining the best clustering method is feasible. Regression models for estimating  $T_v$  are promising in characterizing the thermal comfort of confined dairy cows in compost barn systems.

**Keywords:** Cophenetic Correlation Coefficient; thermal imaging; bed temperature; skin temperature; vaginal temperature.

## 1. Introdução

No último levantamento realizado pela Food and Agriculture Organization (FAO), os maiores produtores de leite no mundo em 2019, foram a Índia, seguida pelo Estados Unidos, Paquistão e Brasil, que ocupa a 4ª colocação no ranking, com uma produção de 196,18; 99,16; 47,30 e 35,17 milhões de toneladas, respectivamente (FAO, 2020). A produção de leite bovino é de grande importância para o agronegócio no Brasil. As pequenas propriedades familiares brasileiras são responsáveis por 58% da oferta total de leite para consumo (HONORATO et al., 2014). Enquanto a produção de leite ocorre em todo o Brasil, há regiões onde essa atividade é especialmente concentrada, com alto nível tecnológico, como o caso da região sul do país (TELLES et al., 2020).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a produção de leite no Brasil totalizou 34,91 bilhões de litros no ano de 2019 (IBGE, 2019). Ainda de acordo com o IBGE (2019), quanto ao ranking das regiões produtoras de leite, a região sudeste lidera com uma produção de 11,94 bilhões de litros produzidos, seguida da região sul com 11,73 bilhões de litros, nordeste 4,85 bilhões de litros, centro-oeste com 4,14 bilhões de litros e por fim a região norte com 2,23 bilhões de litros. Quanto aos cinco maiores estados produtores de leite, o estado de Minas Gerais lidera a produção com 9,44 bilhões de litros de leite produzidos, concentrando 27,11% de toda produção nacional, seguindo do Paraná com 4,33 bilhões de litros, Rio Grande do Sul com 4,27 bilhões de litros, Goiás com 3,18 bilhões de litros e por fim Santa Catarina com 3,04 bilhões de litros. Já o estado de Pernambuco ocupa a nona posição no ranking com 1,05 bilhões de litros, e a segunda colocação na região nordeste como o maior produtor de leite, perdendo apenas para o estado da Bahia com 1,06 bilhões de litros.

No Brasil, a região semiárida, tem como característica elevadas temperaturas, que pode superar os 40°C, insolação, baixa umidade relativa do ar e déficit na precipitação pluviométrica, impactando negativamente no bem-estar animal e acarretando efeitos deletérios na produção de leite, principalmente em rebanhos especializados (BRETTAS et al., 2017; SILVA et al., 2020a). Extremos climáticos podem intensificar os problemas na saúde e bem-estar dos animais, impactando negativamente na sua produção, sendo que a ocorrência desses extremos, como a elevação da temperatura média do ar em regiões semiáridas (LEES et al., 2019; LIU et al., 2019; JI et al., 2020b; SAMMAD et al., 2020; LEVIT et al., 2021; OGUNDEJI et al., 2021), caso do nordeste brasileiro, potencializa ainda mais os efeitos do estresse térmico nos animais (SILVA et al., 2020a).

O bom acondicionamento térmico de bovinos de leite tem sido uma prática adotada para a minimizar a ação de agentes estressores (SOUSA et al., 2021). Os currais de espera ou

as salas de pré-ordenha são locais críticos no manejo de rebanhos leiteiros, pois, em condições térmicas inadequadas podem causar estresse nos animais no momento que antecede a ordenha, dificultando a decida do leite, aumentando a incidência de mastite, gerando impacto negativo na produção.

Dentro dessa temática, a adequação de instalações para bovinos de leite, que busque proporcionar melhores condições micrometeorológica no ambiente de produção, tais como, materiais de cobertura de alta inércia térmica (PASSINI et al., 2020; SOUSA et al., 2021); adequação do paisagismo no entorno da instalação, que permita a atenuação da temperatura do ar pelo efeito da evapotranspiração das espécies vegetais (SOUSA et al., 2021); sistemas de ventilação forçada (FAGUNDES et al., 2020); e sistema *compost barn* (SILVA et al., 2020a), apresentam grande potencial no acondicionamento térmico de instalações zootécnicas, com ênfase no conforto dos animais de produção.

Entre os elementos meteorológicos que têm influência no conforto de vacas de leite, a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, o vento e a radiação solar são os de maior relevância, além da intensidade e duração do efeito dos agentes estressores (PORTO et al., 2017). Resultados satisfatórios vem sendo evidenciados na literatura contemporânea com o emprego do Sistema *Compost Barn* (SCB) no confinamento de vacas leiteiras (PILATTI e VIEIRA, 2017; SILVA et al., 2020a; MACHADO et al., 2021).

As unidades de produção de leite que adotam o SCB de forma adequada, vêm apresentando melhorias no conforto animal e rendimento produtivo (FERNÁNDEZ et al., 2020; LESO et al., 2020; MARCONDES et al., 2020). No entanto, o manejo consiste no revolvimento do material da cama ao menos duas vezes ao dia, para proporcionar aeração, visto que, a ausência dessa prática aliada a alta densidade de animais e ao design incorreto da instalação, podem ocasionar problemas de saúde ao rebanho, como alta contagem de células somáticas, baixos índices de higiene, mastite (LOBECK et al., 2011; SJOSTROM et al., 2019) e danos na pele dos animais, devido ao aumento da temperatura da cama.

Pesquisas ressaltam ainda que o uso do SCB tem ampliado problemas de claudicação e lesões nos animais, quando comparado ao sistema *Freestall* (COSTA et al., 2018; BRAN et al., 2019), no entanto, esses estudos não caracterizam o efeito das variáveis ambientais e sua interação com o processo de compostagem da cama no conforto do animal. Nesse contexto, o estudo do estresse térmico de vacas em lactação em sistemas *Compost Barn* em regiões semiáridas, por meio das variáveis ambientais, índices de conforto e variáveis fisiológicas, ainda vem sendo amplamente estudado, para identificação de pontos críticos de controle como

suporte no processo de tomada de decisão, voltado a redução de perdas produtivas e qualitativas do produto.

## 2. Objetivos

### 3.1. Geral

Avaliar a influência de fatores abióticos em vacas de leite alojadas em sistemas *compost barn* no semiárido brasileiro, por meio de modelagem de semivariogramas geoestatísticos e análise multivariada e, caracterizar o conforto térmico dos animais por análise de regressão múltipla.

### 3.2. Específicos

Caracterizar os fatores abióticos internos e externos que têm influência direta no conforto dos animais.

Realizar a dinâmica espacial da temperatura da cama da instalação e identificar os principais fenômenos (convecção, condução e irradiação) que têm influência direta na estocagem térmica proveniente da interação cama↔ambiente.

Caracterizar a dinâmica espacial da temperatura da pele de vacas leiteiras via modelos de interpolação geoestatísticos e predição do estresse térmico animal com base nos fatores abióticos.

Estabelecer um modelo matemático adaptado do índice de temperatura e umidade (ITU) para caracterização do conforto térmico em sistema *compost barn*.

Determinar o limiar crítico do ITU em sistema *compost barn* por base na literatura já estabelecida, com ênfase na magnitude e duração do estresse.

Testar a sensibilidade dos mais diferentes modelos de ITU difundidos na literatura através de modelos de regressão linear e múltipla, para instalação *compost barn* no semiárido.

Estabelecer um modelo de busca caracterizar a temperatura retal dos animais com base em preditores ambientais e índices de conforto térmico via modelagem multivariada.

Estabelecer o melhor método de agrupamento para dados na ambiência animal com base no coeficiente de correlação cofenética (CCC).



#### **4. Hipóteses**

O sistema *compost barn* (SCB) apresenta condições meteorológicas mais restritas que os demais sistemas de produção leiteira, podendo ser influenciado por trocas de temperatura.

A dinâmica dos ventos no SCB é uma das componentes imprescindível em estudo da dinâmica espacial do conforto térmico nestas instalações.

O emprego do índice de temperatura e umidade (ITU) encontrados na literatura pode não caracterizar com eficiência as condições da instalação devido a interação térmica cama↔ambiente.

A termografia por infravermelho associado a modelagem espacial de dados, para vacas leiteiras confinadas em SCB podem trazer respostas da sensibilidade térmica desses animais antes não observadas na literatura.

A pele do animal é a principal via de troca de calor, sendo a temperatura da pele uma resposta que evidencia os processos de transferência de energia entre a pele e o núcleo corporal, por meio do fluxo sanguíneo (convecção) e da superfície do corpo para o ambiente por meios sensíveis e latente.

Os métodos de Ward e da Média empregados na análise de agrupamento para dados na ambiência animal, podem não ser o melhor método.

O coeficiente de correlação cofenética permitirá estabelecer o melhor método de ligação por agrupamento para predição dos grupos de correlações na ambiência animal.

## **5. Revisão de literatura**

### *5.1. Características climáticas do semiárido brasileiro e seus impactos na bovinocultura leiteira*

A produção agropecuária na região semiárida brasileira é extremamente susceptível às mudanças climáticas (GORI MAIA et al., 2021). Este evento é respondido por diversos fatores, dentre eles, os processos de desertificação (baixa, média e avançada), degradação do solo, longos períodos de déficits de chuvas, escassez hídrica, e condições socioeconômicas e de infraestrutura precárias (BURNEY et al., 2014; SILVA et al., 2020b; SILVA et al., 2020c). As secas se intensificaram no semiárido brasileiro desde meados da década de 1990 e se tornaram mais generalizadas a partir da década de 2010 (MARENGO et al., 2018; SILVA et al., 2020b). Ainda, as previsões climáticas indicam cenários pessimistas para as condições relacionadas aos déficits de chuvas e à aridez do solo no semiárido brasileiro durante a segunda metade do século XXI (MARENGO et al., 2012).

Diversos estudos investigaram os impactos das mudanças climáticas na produção agropecuária no Brasil e no mundo (RIBEIRO et al., 2018; SANTOS et al., 2019; HATFIELD et al., 2020; SANTOS et al., 2020; KOGO et al., 2021). Atualmente, as pesquisas se concentram em como as estratégias adaptativas podem compensar os impactos negativos das mudanças climáticas na produção agropecuária e na segurança alimentar (OLIVEIRA et al., 2019; PEIXOTO et al., 2019; PILATTI et al., 2019; SILVA et al., 2020a).

Um dos desafios na produção de bovinos de leite é o manejo dos animais contra o estresse por calor (SILVA et al., 2021). As perdas de produção de leite estão associadas a alteração do bem-estar das vacas leiteiras, dessa forma, a importância de estudos que busquem reduzir o estresse por calor é fundamental para minimização de seus efeitos no desempenho dos animais (JI et al., 2020b; SILVA et al., 2020a; SILVA et al., 2021). A pele do animal é a principal via de troca de calor, sendo a temperatura da pele uma resposta que evidencia os processos de transferência de energia entre a pele e o núcleo corporal, por meio do fluxo sanguíneo (convecção) e da superfície do corpo para o ambiente por meios sensíveis e latente (AMAMOU et al., 2019).

Diante disso, a adequação das instalações é fundamental na produção leiteira. O tipo de sistema de produção pode afetar o comportamento do gado de leite e proporcionar um ambiente que possa garantir o conforto térmico dos animais, tanto por uma perspectiva de bem-estar, como econômica.

### *5.2. Interação fatores abióticos, índices de conforto térmico e fisiologia animal*

O estresse térmico se refere à soma dos fatores abióticos internos e externos de um determinado ambiente, que atuam sobre um animal para aumentar a temperatura corporal (interna e externa de seu corpo) e provocar uma resposta fisiológica em função do estresse e/ou não (SKIBIEL et al., 2018; BIN-JUMAH et al., 2020; PACHECO et al., 2020; SIGDEL et al., 2020; YAN et al., 2022). Vacas leiteiras são altamente suscetíveis ao estresse calórico devido à sua grande produção de calor, mas capacidade insuficiente de dissipar calor (SILVA et al., 2020a). Segundo Nääs (1989), a zona de conforto térmico (ZCT) de vacas leiteiras varia de 4 a 24 °C, podendo ser restrita aos limites de 7 e 21 °C, devido à umidade relativa e à radiação solar, no qual, valores de temperatura fora da ZCT podem causar estresse térmico em vacas leiteiras, sobretudo para as de alto rendimento.

Nas últimas décadas, o estresse térmico animal tornou-se um dos principais desafios enfrentados pelos produtores de leite (JI et al., 2020a; JI et al., 2020b). Diante desse cenário, há a ocorrência de prejuízos à saúde do animal, produção de leite e até mesmo na sua reprodução (WOLFENSON e ROTH, 2019; SILVA et al., 2021). Contudo, vários fatores podem atenuar no efeito da condição térmica (estresse ou não-estresse). Conforme destacado por Nääs (1989) existem limites mínimo e máximo para condição de conforto do animal, no entanto, a condição de umidade relativa do ar pode ser um fator decisivo na perda do calor corporal (HERBUT e ANGRECKA, 2018; CRUVINEL et al., 2019; GERNAND et al., 2019). Esse fenômeno ocorre principalmente no Brasil, por apresentar predominância do clima tropical, caracterizado por ser predominantemente quente e chuvoso, com uma presença constante de energia solar radiante e alta umidade, no que resulta na dificuldade de perda de calor corporal (DENIZ et al., 2020; VASCONCELOS et al., 2020).

Os métodos utilizados para avaliar o estresse térmico dos animais baseiam-se em uma série de indicadores ambientais, ao qual, são expressos na forma de modelos que visam caracterizar as condições de conforto e estresse térmico dos animais através de índices de conforto térmico (BERMAN et al., 2016; SILVA et al., 2020a; YAN et al., 2022). O índice de temperatura e umidade (ITU), é o índice mais amplamente utilizado, proposto por Thom (1959), inicialmente desenvolvido para humanos e depois introduzido nos estudos relacionados com ambientes térmicos animais (HERBUT et al., 2018; THORNTON et al., 2021). Os modelos que determinam o ITU incorporam a temperatura do bulbo seco e umidade (umidade relativa, temperatura do bulbo úmido ou temperatura do ponto de orvalho), que são as medidas do teor de calor sensível e latente do ar, respectivamente (YAN et al., 2022). Tanto a temperatura do ar quanto a sua umidade relativa, são fatores determinantes nos processos de troca de calor entre

o animal e seu ambiente. contudo, o efeito térmico causado pela velocidade do vento e radiação solar incidente em vacas leiteiras não podem ser desprezados (SILVA et al., 2020a).

Diante dessa problemática, diversos estudos vêm propondo novos modelos considerando outros fatores ambientais além da temperatura do ar e a umidade relativa, e vem relacionando esses modelos com indicadores fisiológicos de estresse por calor. Nas últimas décadas, vários modelos que caracterizam o conforto térmico foram desenvolvidos para bovinos (WANG et al., 2018a). Os modelos de índice de conforto térmico publicados incluem o índice de umidade do globo negro (BUFFINGTON et al., 1981), o índice de temperatura equivalente (BAETA et al., 1987), o índice de frequência respiratória (BROWN-BRANDL et al., 2005), a temperatura ajustada - índice de umidade (MADER et al., 2006), o índice de carga de calor (GAUGHAN et al., 2008), o índice climático abrangente (MADER et al., 2010), e o índice de estresse térmico para vacas (SILVA et al., 2015).

Silva et al. (2020a), que estudaram a dinâmica espacial via modelos geoestatísticos de variáveis meteorológicas, temperatura da cama e índice de temperatura e umidade, fundamentaram por meio de modelagem múltipla, um índice de conforto térmico para vacas leiteiras confinadas em sistema *compost barn*. Há também Wang et al. (2018b) que introduziram o índice de temperatura equivalente para vacas (ETIC) com base em dois conjuntos de dados independentes: o primeiro registrado em clima controlado e o segundo registrado em campo. Li et al. (2020) introduziu dois fatores não ambientais, sendo-os, produção de leite e blocos de tempo, para prever a taxa respiratória média para vacas leiteiras em lactação em alojamentos na China.

No entanto, a aplicabilidade de um modelo de conforto térmico para avaliar o estresse térmico, como o índice de temperatura e umidade (ITU) é problemático. A principal problemática é que o índice mais comumente utilizado ainda é índice humano estabelecido há 60 anos (THOM, 1959). A maioria dos modelos estabelecido de índices baseados em bovinos, apresentaram correlações fracas com preditores de acordo com as avaliações anteriores, normalmente sendo temperatura e umidade, e ainda, a maioria dos modelos não são eficazes o suficiente para as condições ambientais além da faixa investigada (Berman et al., 2016). Índices A maioria dos modelos pouco difundem as ligações teóricas com a transferência de calor entre o animal e o ambiente (WANG et al., 2018a), ao qual, alguns não fornecem os valores de limite claros definidos para diferentes níveis de estresse térmico.

### 5.3. Bem-estar na bovinocultura leiteira

O bem-estar animal ainda é um conceito novo no Brasil quando posto em comparação às experiências da União Europeia. Ainda não existe uma legislação única, mas sim legislações de ordem municipal, estadual e federal e quanto ao cumprimento de regras de bem-estar no sistema de produção (FRANCHI et al., 2014; HÖTZEL et al., 2018; YUNES et al., 2021). No entanto, as recomendações quanto ao manejo humanitário, consciente, ético e respeitoso são essenciais para produtores que pretendem conquistar o mercado internacional (BARRETO et al., 2020; JI et al., 2020a; JI et al., 2020b).

O Comitê das Nações Unidas sobre Segurança Alimentar Mundial declarou em sua “Proposta de projeto de recomendações sobre desenvolvimento agrícola sustentável para segurança alimentar e nutrição, incluindo o papel da pecuária”, a recomendação 'D' do artigo VIII, intitulado Saúde e bem-estar animal: “Melhorar o bem-estar animal cumprindo as cinco liberdades e os padrões e princípios relacionados da OIE (Organização Mundial da Saúde Animal), inclusive por meio de programas de capacitação e apoiando ações voluntárias no setor pecuário para melhorar o bem-estar animal ” (LEGG, 2017; BULLER et al., 2018). Em 2014, a Corporação Financeira Internacional (IFC) publicou uma Nota de Boas Práticas intitulada bem-estar animal em operações pecuárias, que apontou claramente que “Padrões mais elevados de bem-estar animal são cada vez mais vistos como um pré-requisito para aumentar a eficiência e a lucratividade dos negócios, satisfazer os mercados internacionais e atendendo às expectativas do consumidor” (IFC, 2014). As políticas da IFC são aplicadas em todo o mundo (BROOM, 2017).

O protocolo de avaliação da Welfare Quality® (WQ) (Welfare Quality, 2009) tornou-se o método mais aceito nas fazendas, por avaliar o bem-estar animal de acordo com os padrões das cinco liberdades, aplicando medidas baseadas em animais, manejo e recursos. Foi adotado para várias espécies e centra-se principalmente em quatro princípios considerados essenciais para o bem-estar animal: boa alimentação, boa habitação, boa saúde e comportamento adequado (CHAPA et al., 2020). A “Boa Alimentação” descreve a ausência de fome ou sede prolongadas. A “Boa Habitação” integra três critérios: conforto no repouso, conforto térmico e facilidade de movimento. Já a “Boa Saúde” é definida pela ausência de doenças e lesões (e.g., lesões na pele ou claudicação) e a ausência de dor induzida por procedimentos de gestão. O último princípio, refere-se ao “Comportamento Adequado” inclui a expressão de comportamentos sociais e outros, uma boa relação humano-animal e um estado emocional positivo (Welfare Quality, 2009; GRAAF et al., 2018). Esses princípios são caracterizados por critérios de bem-estar que são observados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Princípios, critérios e medidas da Welfare Quality® para a avaliação do bem-estar em vacas leiteiras.

Princípios de bem-estar	Crítérios de bem-estar	Medidas avaliadas
Boa alimentação	Ausência de fome prolongada	Porcentagem de vacas muito magras.
	Ausência de sede prolongada	Disponibilidade e limpeza da água.
Boa habitação	Conforto e descanso	Tempo necessário para deitar, colisão com os equipamentos de habitação durante o movimento de deitar, animais que se encontram fora da área de repouso, limpeza (úberes, flanco/parte superior das pernas, parte inferior das pernas).
	Conforto térmico	Nenhuma medida.
	Facilidade de movimento	Presença de amarras e acesso a área ao ar livre ou pasto.
Boa saúde	Ausência de lesões	Laminite e alterações do tegumento.
	Ausência de doença	Tosse, descarga nasal, descarga ocular, respiração dificultada, diarreia, descarga vulvar, contagem de células somáticas do leite, mortalidade, distorcia.
	Ausência de dor induzida por manejo	Mutilações (descorna, ancoragem na cauda, uso de anestésicos ou analgésicos).
Comportamento apropriado	Expressão de comportamentos sociais	Incidência de comportamentos agonísticos (cabeçadas, deslocamentos, perseguição e combate).

Expressão de outros comportamentos	Acesso ao pasto.
Boa relação homem-animal	Distância de esquiva no local de alimentação.
Estado emocional positivo	Avaliação comportamental qualitativa (ativo, relaxado, medroso, agitado, calma, contente, indiferente, frustrado, amistoso, entediado, brincalhão, positivamente ocupado, animado, inquisitivo, irritado, inquieto, sociável, apático, feliz, angustiado).

**Fonte:** Welfare Quality (2009).

A saúde é um pré-requisito básico para o bem-estar (ALONSO, 2020), a saúde e os altos níveis de produção são os tópicos centrais na discussão do bem-estar em animais de fazenda (CHAPA et al., 2020). Nos últimos anos, no entanto, o público tem exigido padrões mais elevados de bem-estar e métodos confiáveis para medir ou avaliar o bem-estar mental e fisiológico dos animais (SILVA et al., 2020a). O desempenho e a saúde dos animais são, do ponto de vista dos consumidores, indicadores mais adequados de bem-estar animal e podem ser mantidos independentemente do tamanho do rebanho (GIESEKE et al., 2018; GRIMARD et al., 2019).

#### 5.4. Sistema *compost barn*: processos e manejo da cama

Com o aumento da demanda mundial por alimentos, naturalmente a demanda por sistema voltados ao melhoramento do conforto térmico dos animais e maximização da produção, vem aumentando aos passos das exigências da sociedade. Sistemas de produção voltados ao conforto térmico e bem-estar animal, vem cada vez mais demandados pelos produtores de leite assim como o seu interesse em explorar por tais sistemas, dentre eles destaca-se o sistema *compost barn* (VIEIRA et al., 2021). No entanto, permanecem dúvidas sobre os aspectos comportamentais de vacas em climas tropicais e subtropicais, pois o sistema de *compost barn* oferece maior área de cama por animal com menor taxa de lotação (PILATTI et al., 2019).

O sistema *compost barn* são comuns em climas subtropicais. Esse fenômeno se deve às características de alojamento em grupo, que favorecem melhor interação entre os animais, redução de mastite e claudicação causada pelo uso da cama e melhor controle térmico (PILATTI et al., 2017; PEIXOTO et al., 2019; SILVA et al., 2020a). O desempenho da compostagem é influenciado por vários fatores relacionados ao manejo do sistema, tais como a frequência de aeração, deposição de dejetos e reposição de material. Ainda, o desempenho pode ser verificado por meio da umidade da cama, temperatura alcançada durante o processo, pH, relação carbono/nitrogênio, densidade aparente e espaço livre de ar (ANDRADE et al., 2021).

Os microrganismos produzem calor como resultado de processos metabólicos, resultando em um aumento na temperatura do composto. Em condições superaquecidas, os organismos termófilos são favorecidos, enquanto ambientes mais frios favorecem os psicrófilos (KASHYAP et al., 2003; GIAMBRA et al., 2021). Em fazendas leiteiras americanas, Eckelkamp et al. (2016) observaram que à medida que a temperatura interna da cama aumentava, o crescimento de bactérias do gênero *Stafilococcus spp.*, *Streptococcus* e *Bacillus spp.* na área de cama diminuiu e o crescimento das espécies de coliformes aumentou. O teor de umidade da cama é considerado como um dos principais parâmetros que afetam o processo de biodegradação (LESO et al., 2020) e a temperatura do composto é frequentemente usada para indicar o sucesso da compostagem (SILVA et al., 2020a).

Estudos anteriores sobre sistemas *compost barn*, usaram uma abordagem relacionada à variabilidade espacial do ambiente térmico (SILVA et al., 2020; VIEIRA et al., 2021). Em um estudo desenvolvido por Mota et al. (2019), no qual, utilizaram modelagem geoestatística, para representar e localizar pontos críticos de índices de conforto animal do ambiente térmico em sistema *compost barn*, observaram que o índice de temperatura e umidade e a entalpia mostrou que a operação do ventilador com alcance de até 17 m durante o verão não conseguiu evitar a alta heterogeneidade. Garantir condições uniformes em todo o galpão é importante, pois o estresse térmico em um ambiente heterogêneo pode causar disputas no rebanho por recursos ambientais, como ventiladores, espaço e água (PILATTI et al., 2019).

Em animais homeotérmicos, a produção de calor resultante de processos metabólicos deve ser trocada dentro de um corpo (através de membranas celulares e vasculares) e entre o corpo e seu ambiente (HERBUT et al., 2019). Esse fenômeno é função de fatores macro e microclimáticos, sua duração e intensidade, o ambiente em que ocorrem e as características biológicas dos animais (PINTO et al., 2019). Considerando a alta carga térmica no ambiente animal, o comportamento termorregulatório é um indicador primordial de estresse térmico.



### *5.5. Modelagem animal e análise de dados voltados a ambiência animal*

Para potencializar a produção e atingir a ótima produtividade dos animais, de forma a permitir a expressão do seu potencial genético, é fundamental estabelecer condições térmicas e de conforto favoráveis. Diante dessa problemática, em ambientes de produção animal, os limites de tolerância à exposição ao calor, são formas de preservar a saúde dos animais, garantindo assim o seu máximo rendimento produtivo (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2018). Ao longo dos anos estudos sobre conforto térmico tornaram-se relevantes na avaliação das condições ambientais (ARMSTRONG, 1994; BERMAN et al., 2016; SILVA et al., 2020a). Foram desenvolvidos índices para melhor mensurar o conforto dos indivíduos, como o Índice de Temperatura e Umidade – ITU (THOM, 1959; NRC, 1971; MADER et al., 2006; BERMAN et al., 2016; SILVA et al., 2020a) e Índice de Temperatura e Umidade do Globo Negro – ITGU (Buffington et al., 1981), com base em medidas climáticas como temperatura do ar, temperatura do globo negro, umidade relativa e velocidade do vento. O conforto térmico pode ser definido como a condição de conforto total que um indivíduo expressa em relação ao ambiente em uma perspectiva térmica.

Uma das principais técnicas de caracterização térmica dos animais, seja intrínseca e extrínseca ao animal, é a modelagem espacial das condições de conforto térmico dos animais. Dentre os métodos destaca-se os modelos de semivariogramas geoestatísticos, que através da semivariância permite o pesquisador avaliar a dependência espacial entre determinados pontos e/ou em um grande conjunto de dados georreferenciados. Batista et al. (2021), utilizaram técnicas de análise de imagens para extrair características de interesse e estabelecer um modelo de conforto térmico animal, baseado na classificação de imagens térmicas em novilhas 7/8 de Holandês-Gir, por meio de geoestatística e análise multivariada. Sendo que os autores observaram que a utilização de geoestatística associada à análise de componentes principais proporcionou uma caracterização eficiente da temperatura corporal de novilhas Girolando, sendo o modelo gaussiano o que melhor ajustou a caracterização da temperatura superficial do animal, portanto, indicado como o ideal para estudos sobre a variabilidade da temperatura superficial de novilhas em condições semiáridas.

A caracterização espacial de instalações de confinamento de animais e sua associação com o conforto térmico dos animais, por meio do emprego da análise geoestatística, também vem sendo bem difundida da literatura, sendo essa uma forma intrínseca de avaliar as condições de conforto dos animais. Estudo como de Silva et al. (2020a) que aplicaram modelos de interpolação geoestatísticos para avaliar os fatores abióticos (temperatura, umidade relativa, ITU, velocidade do vento, radiação incidente e temperatura da cama) que influenciam o

conforto térmico de vacas leiteiras em um sistema de produção *compost barn*, os autores observaram que a espacialização das componentes ambientais, possibilitou caracterizar indiretamente as condições de conforto térmico dos animais, e estabelecer técnicas de manejo da instalação, objetivando o conforto dos animais e potencializar a produção da instalação. Assim como estudo realizado por Lopes et al. (2020), que avaliaram a dinâmica espacial da temperatura do ar e velocidade do vento nos turnos da manhã e tarde em duas instalações de aves, ao qual, por meio da geoestatística os autores observaram zonas de risco na instalação, sendo fundamental a adequação delas, buscando de uma forma eficiente, estabelecer condições ideais de conforto para as aves. Em se tratando de instalações de aves, todo cuidado é fundamental, pois a instalação fora da zona ideal de conforto para os animais, em intervalo de pequenas horas, o risco de comprometer a instalação é alto. Dessa forma torna-se evidente que a modelagem indireta na ambiência animal, é fundamental no manejo e perspectivas de produção.

Além da modelagem geoestatística aplicada na ambiência animal, existem outras técnicas de interpolação e modelagem do conforto térmico dos animais sob confinamento, a citar a interpolação pelo inverso quadrado da distância (IDW - *Inverse Distance Weighting*). Contudo, o grau de incertezas na técnica IDW é maior que a modelagem semivariogramas geoestatísticos (SHAHBEIK et al., 2014), no qual, o IDW nunca fará a predição de valores acima do valor máximo observado, diferente da modelagem geoestatística que permite observar valores acima dos observados, possibilitando assim considerar diferentes cenários e zonas de risco.

Por outro lado, a automatização e a empregabilidade da técnica por IDW é mais simples e rápida de ser aplicada. Como o caso do estudo de Oliveira Júnior et al. (2019), que desenvolveram um aplicativo para smartphone (*Aurora*) para análise da variabilidade espacial dos índices de conforto térmico de animais e pessoas, usando interpolação IDW, no qual, os autores recomendam a utilização do aplicativo na obtenção de diagnósticos das condições térmicas dos ambientes, principalmente nos galpões de produção animal. Resultados promissores e precisos, são apontados no estudo de Oliveira Júnior et al. (2021), ao qual, os autores desenvolveram um sistema capaz de coletar medições de temperatura do ar, temperatura do globo negro e umidade relativa, para interagir com o aplicativo móvel *Aurora*, os resultados apontaram que a interação do sistema com o aplicativo móvel *Aurora* apresentou resultados satisfatórios na caracterização da variabilidade espacial da temperatura do ar, índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e índice de temperatura e umidade (ITU). Essa

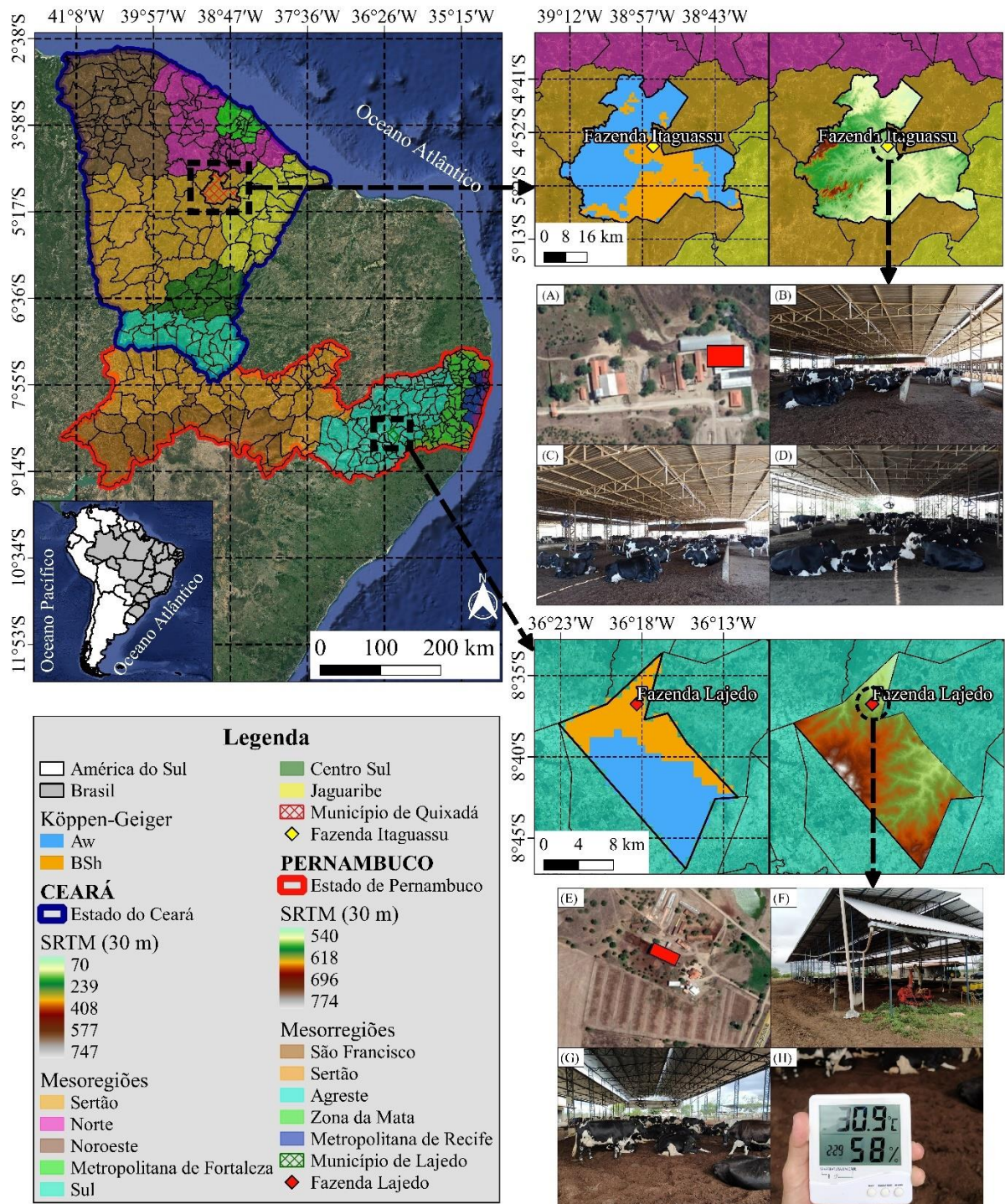
ferramenta possibilita maximizar o tempo de medições *in loco* com foco na pesquisa, assim como auxiliar o produtor na tomada de decisão, quanto ao manejo de sua instalação.

De forma extrínseca, há também as medições *in loco* de forma manual, ao qual, um operador por meio de uma miniestação meteorológica de mão, pode estar realizando as medições e posteriormente calcular índices de conforto térmico. Estudos dessa dimensão, normalmente são aplicados para pesquisas científicas, dado o trabalho que é levado em consideração para realização dos mesmos (JUNIOR et al., 2021). Todavia, não se descarta a sua aplicabilidade no meio profissional, visto que o produtor e/ou funcionários com longo período de serviço, dada suas experiências, podem avaliar de forma precisa tanto quanto um equipamento automático, em certas circunstâncias até de forma mais precisa (CARDOSO et al., 2019; EGGEL et al., 2020).

## **6. Material e métodos**

### *6.1. Caracterização da área experimental*

A pesquisa foi conduzida em duas fazendas comerciais de produção leiteira, a primeira localizada no município de Lajedo, mesorregião Agreste, Estado de Pernambuco, Brasil (latitude 8°36'54,9"S, longitude 36°18'03,2"W e altitude de 617 m) e a segunda localizada município de Quixadá, estado do Ceará, Brasil (latitude 4°54'23,11"S e longitude 38°55'09,70"W e altitude de 176 m) (Figura 1). De acordo com a classificação de Köppen no município de Lajedo, o clima da região enquadra-se em duas classes, “BSh” — tropical semiárido quente, com estação seca definida e, “Aw” — clima tropical de savana com estação seca de inverno (ALVARES et al., 2013; BECK et al., 2018), com precipitação anual de 873 mm e temperatura média do ar de 21,9 °C ano<sup>-1</sup> (INMET, 2021). Para o município de Quixadá de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, verifica-se semelhança climática entre as regiões com características de transição “BSh” e “Aw” (ALVARES et al., 2013; BECK et al., 2018), com precipitação anual de 712,8 mm e temperatura média do ar de 27,2 °C ano<sup>-1</sup> (INMET, 2021).

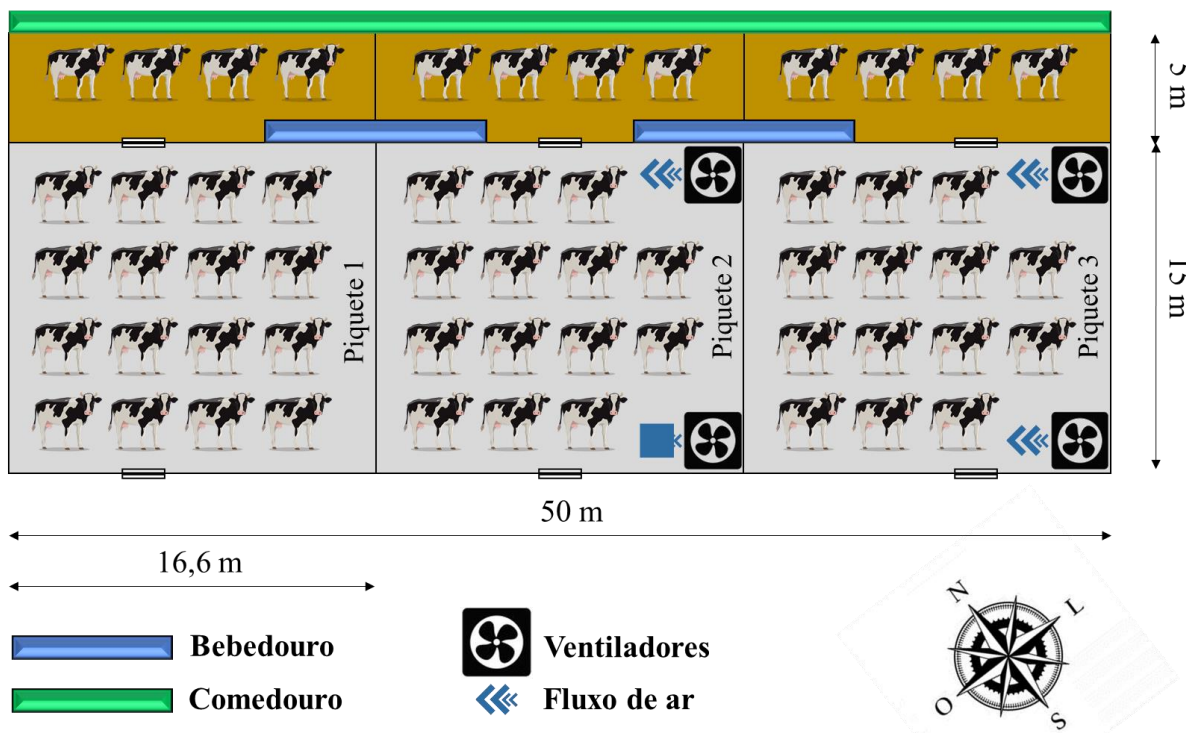


**Figura 1.** Localização geográfica das fazendas de produção de leite em Quixadá (CE) e Lajedo (PE), seguido da caracterização climática por Köppen-Geiger, elevação topográfica via Shuttle Radar Topography Mission (SRTM, 30 m) e localização da unidade de produção com o sistema *compost barn* em Quixadá (A, B, C e D) e Lajedo (E, F, G e H).

## 6.2. Caracterização do Sistema Compost Barn (SCB)

### 6.2.1. Município de Lajedo – Pernambuco (instalação 1)

A instalação do *Compost Barn* possuía 50,0 m de comprimento, 15,0 m de largura e 4,0 m de pé-direito, com orientação NO-SE (Figura 2). A instalação não apresentava fechamentos laterais, com piso de terra batida, a fim de proporcionar infiltração de líquidos provenientes das excretas (fezes e urinas) dos animais. A cama do Sistema *Compost Barn* (SCB) era constituída de 100% de maravalha (resíduos de serragem da madeira), com aproximadamente 0,30 m de espessura, sendo revolvida 2 vezes ao dia, imediatamente após os animais serem conduzidos a ordenha, nos horários das 06:00 e 17:00 h. O telhado era do tipo metálico com dimensões de 3,0 × 1,04 m (com intuito de aumentar a reflectância da radiação solar). O interior da instalação contou com 4 ventiladores axiais tipo tufão (vazão total de 30,0 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>) (Figura 2), com funcionamento contínuo, para o alojamento de 60 vacas da raça Holandesa.

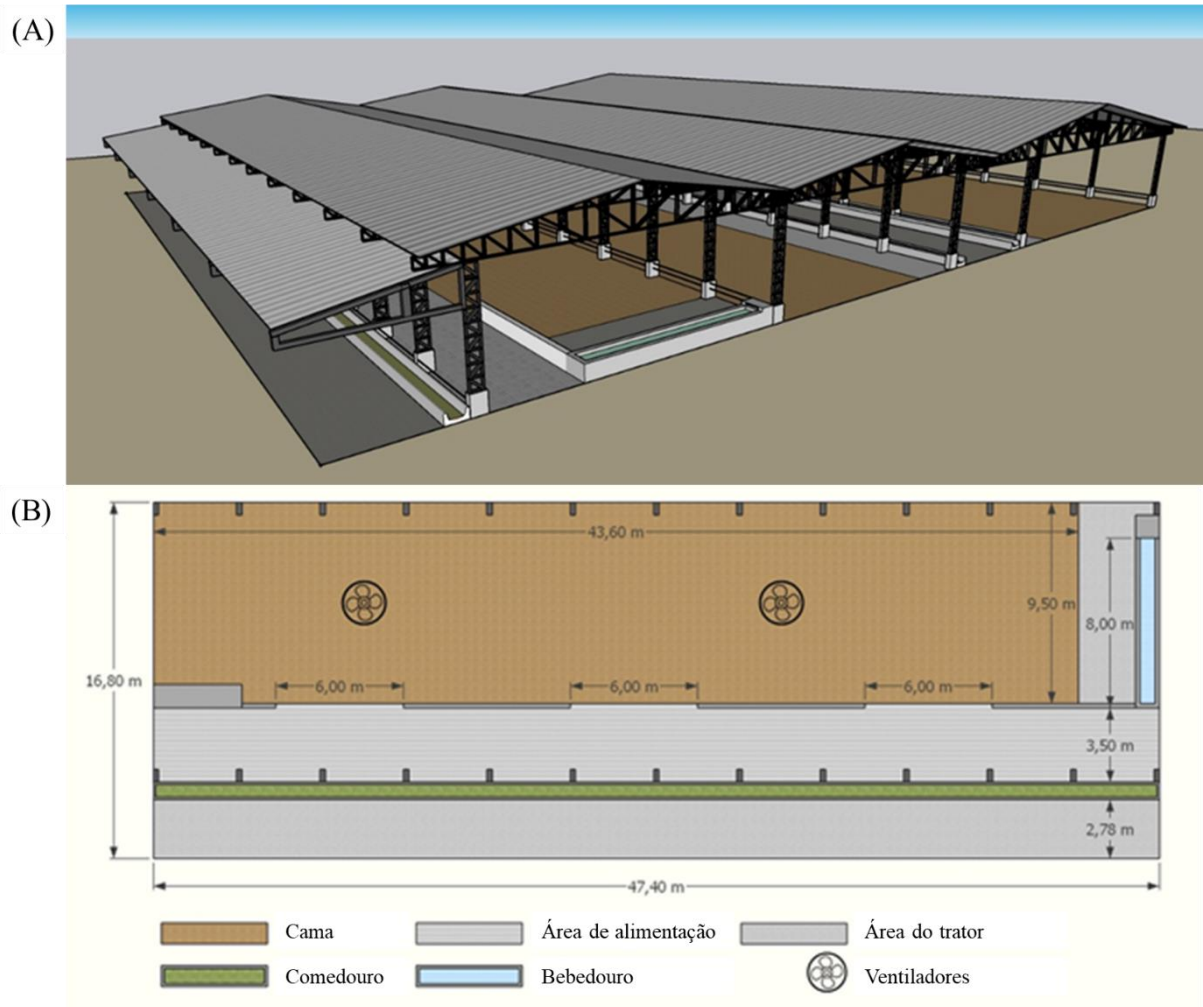


**Figura 2.** Croqui da área de estudo de confinamento dos animais.

### 6.2.2. Município de Quixadá – Ceará (instalação 2)

As dimensões da instalação eram 16,8 m × 47,4 m (largura e comprimento), contendo altura de pé direito de 5,0 m, com prolongamento de beiral de 3,5 m, na porção nor-noroeste (Figura 3A). Um corredor de concreto de 3,5 m separava o cocho de alimentação da área de cama. As vacas tinham acesso a um bebedouro retangular de alvenaria de 8,0 m de comprimento (Figura 3B). A instalação foi construída na orientação NE-SO, com cobertura de telha

galvanizada (Figura 3A). Dois ventiladores (Ziehl-Abegg), centralizados a uma altura de 3,10 m, permaneceram com funcionamento contínuo, exceto nos períodos em que as vacas estiveram na sala de ordenha.



**Figura 3.** Frontal da instalação SCB (A); croqui da área de confinamento dos animais (B).

O SCB possui uma área de cama de 412,2 m<sup>2</sup>, com densidade de alojamento para vacas leiteiras de 10,4 m<sup>2</sup> animal<sup>-1</sup>. Os fechamentos laterais da instalação eram feitos por cercas de arame. A instalação é composta por piso de terra batida, a fim de proporcionar infiltração de líquidos provenientes das excretas (fezes e urinas) dos animais. A cama do SCB era constituída de 100% de maravalha (resíduos de serragem da madeira), com aproximadamente 0,40 m de profundidade, sendo revolvida 2 vezes ao dia, imediatamente após os animais serem conduzidos a ordenha, nos horários das 08:00 e 15:30 h.

### 6.3. Caracterização micrometeorológica do SCB

### 6.3.1. Município de Lajedo – Pernambuco (instalação 1)

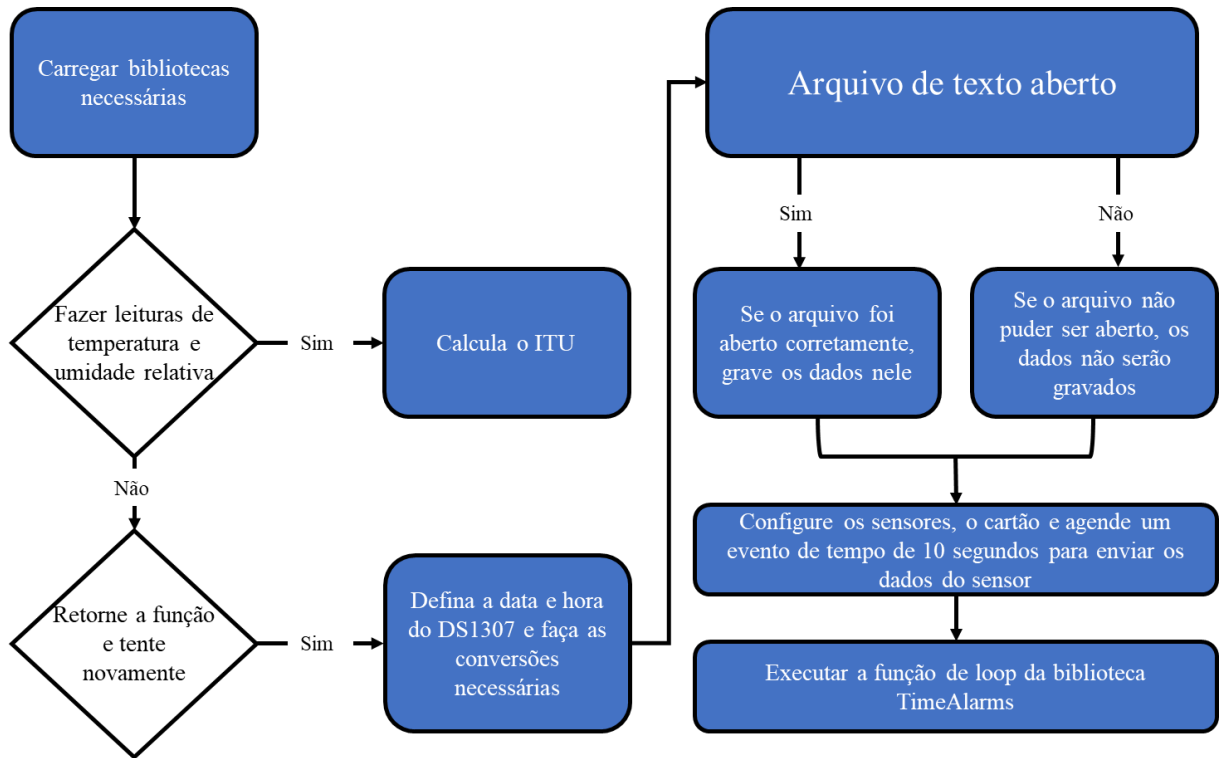
O registro da temperatura de bulbo seco ( $T_{ar}$ ), umidade relativa (UR, %), temperatura de globo negro (TGN) e a determinação do índice de temperatura e umidade (ITU) foi realizado por meio do equipamento AmbienteLab, protótipo desenvolvido em placa Arduino (Figura 4). O código desenvolvido para o funcionamento do dispositivo foi em linguagem C++ na IDE ARDUINO e o API de internet das coisas Thingspeak, para visualização dos dados em tempo real. Os equipamentos foram instalados a 1,50 m do piso, no centro geométrico de cada piquete (Figura 2), para o registro das variáveis em intervalos de 10 segundos, das 9:00 às 15:00 h. Na instalação ocorrem três ordenhas ao dia, as 06:00, 14:00 e as 20:00 h.



**Figura 4.** Aparelho AmbienteLab para registro das variáveis meteorológicas e índice de conforto térmico.

A programação permitiu estabelecer conexão Bluetooth com o dispositivo portátil e enviar as medidas meteorológicas ( $T_{ar}$  e UR) para a plataforma de Internet das coisas Thingspeak, para visualização em tempo real pela rede WiFi. O aparelho também possui a opção de envio das medidas climatológicas para o cartão de memória em locais onde não é possível conexão com rede WiFi (e.g., instalação em que foi realizado este estudo). Na Figura 5 é apresentado o fluxograma do funcionamento do sistema (aparelho + algoritmo).





**Figura 5.** Fluxograma representativo do funcionamento do AmbienteLab e da programação empregada.

A programação possibilitou a implementação do índice de temperatura e umidade (ITU) originalmente desenvolvido por Thom (1959), que combina num único valor os efeitos da temperatura e da umidade relativa do ar (SILVA et al., 2020a). O estresse térmico com base no ITU foi classificado de acordo com Armstrong (1994), ao qual, variação de ITU em ameno ou brando é de 72 a 78, moderado de 79 a 88 e severo de 89 a 98. ITU abaixo de 72 caracteriza-se sem estresse térmico. O ITU empregado neste estudo, foi calculado com base na equação de Berman et al. (2016), representada pela Eq. 1.

$$ITU = [3,43 + (1,058 \times T_{ar}) - (0,293 \times UR) + (0,0164 \times T_{ar} \times UR) + 35,7] \quad (\text{Eq. 1})$$

em que,

$T_{ar}$  - temperatura do ar (°C);

UR - umidade relativa do ar (%).

As variáveis ambientais registradas no interior da instalação foram a temperatura do ar ( $T_{ar}$ , °C) e a umidade relativa do ar (UR, %) por meio de um termohigrômetro digital com faixa de medição da T de -10 a 60 °C e UR de 10 a 99%; resolução da T de 0,1 °C e UR de 1%; e exatidão da T de  $\pm 1$  °C e UR de  $\pm 5\%$ ; a velocidade do vento ( $V_v$ ,  $m\ s^{-1}$ ) foi obtida a partir de

anemômetro de hélice com medição da Vv 0-30 m s<sup>-1</sup>, precisão da medição de 95%, temperatura de operação de -10 a 45 °C e umidade de operação de até 90%; a iluminância (lux) foi determinada por meio de um luxímetro digital com capacidade de medição de 0 a 100.000 lux. Os registros das variáveis ambientais foram realizados a uma altura de 1,0 m da cama, nos horários das 9:00, 12:00 e 15:00 horas, em 44 pontos dentro da instalação, espaçados por uma malha de 5 × 5 m.

### 6.3.2. Município de Quixadá – Ceará (instalação 2)

Foi realizada uma caracterização micrometeorológica do local, sendo registrados a temperatura do ar (T<sub>ar</sub>, °C) e a umidade relativa do ar (UR, %) com o uso de miniestações meteorológicas equipadas com Data Logger (Onset®, modelo U23-001 HOBO® Pro v2, Cape Cod, Massachusetts, USA), com registro a cada 10 minutos e determinado o ITU conforme a Eq. 1. A velocidade dos ventos (Vv) foi registrada através de um anemômetro de hélice em 48 pontos espaçados a 2,5 m a um grid de 2,5 x 2,5 m, nos turnos da manhã e tarde. A primeira ordenha ocorre das 08:00 h, tendo seu término às 08:30 h, enquanto a segunda ordenha inicia-se as 15:30 h e tem término às 16:00 h.

Através dos dados registrados pelo AmbienteLab, foi estabelecido um modelo de regressão múltipla para estimativa da TGN no município de Quixadá, por se tratar de regiões de clima semelhantes, foi possível estabelecer com segurança o modelo de regressão que apresentou um ajuste satisfatório (R<sup>2</sup> = 0,973). Foi determinado a temperatura de ponto de orvalho (TPO) com base na Eq. 2 proposta por Raes e Munoz (2009).

$$TPO = \frac{237,1 \left( \frac{\ln \left( \frac{UR}{100} \right)}{17,27} + \frac{T_{ar}}{(237,3 + T_{ar})} \right)}{1 - \left( \frac{\ln \left( \frac{UR}{100} \right)}{17,27} + \frac{T_{ar}}{(237,3 + T_{ar})} \right)} \quad (\text{Eq. 2})$$

em que,

T<sub>ar</sub> – temperatura do ar (°C);

UR - umidade relativa do ar (%).

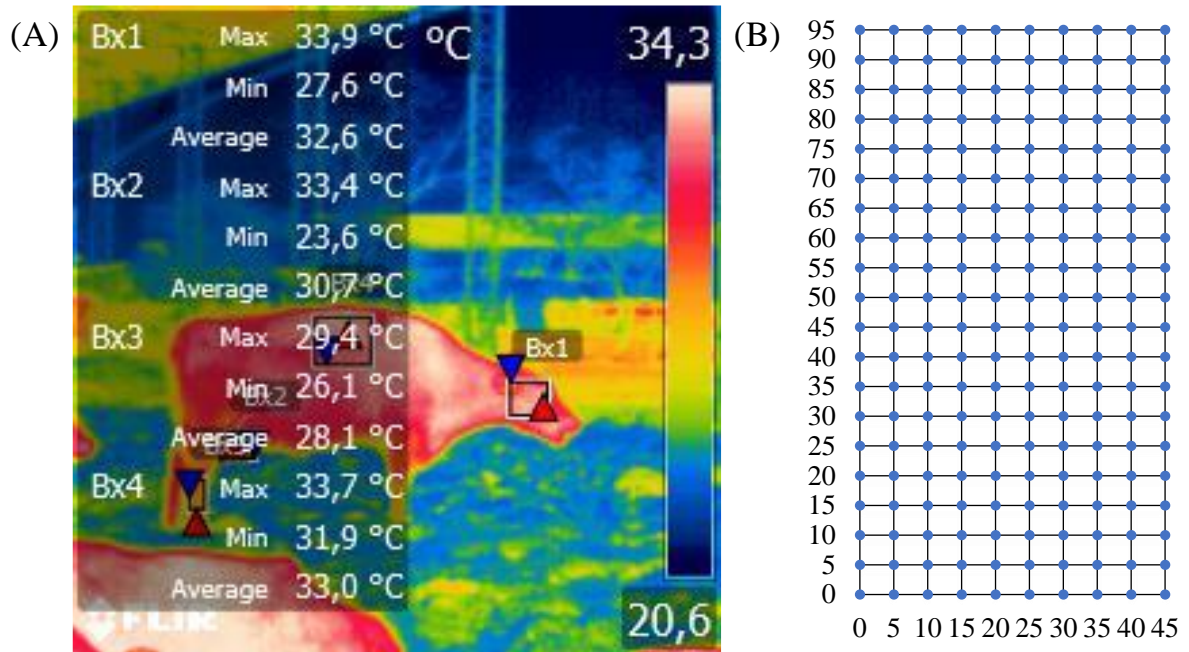
## 6.4. Caracterização fisiológica dos animais e da cama do sistema compost barn (SCB)

### 6.4.1. Município de Lajedo – Pernambuco (instalação 1)

Foram registradas imagens térmicas em três animais aleatórios, ao qual, os animais foram mantidos fixos no decorrer do dia de registro. O registro das imagens foi feito por meio de uma câmera termográfica (modelo FLIR i60), com uma resolução de 0,1 °C, distância focal de 2,0 m e emissividade ajustada para 0,98, conforme descrito por Diniz et al. (2020). Para o registro das imagens térmicas dos animais, descartou-se os indivíduos que se localizavam nas bordas da instalação, tomando como base os fatores extrínsecos (e.g., temperatura, velocidade do vento e radiação solar incidente). Os registros foram realizados durante a permanência do animal no centro de cada piquete (Figura 2), havendo a necessidade em certos momentos de conduzir o animal para o centro da instalação, garantindo sua permanência nesta condição por mais de 30 min.

A seleção das imagens térmicas empregadas neste estudo, baseou-se na identificação de imagens homogêneas, registradas no decorrer do dia de registro, com destaque para aquelas que apresentaram maior semelhança na variação da temperatura da pele. O pré-processamento das imagens térmicas foi realizado por meio do programa FLIR Tools, com ajuste dos valores de emissividade com base na temperatura do ambiente (T) e umidade relativa do ar (UR) aferidas no momento do registro da imagem, padronizando as leituras de temperatura da pele em todas as imagens térmicas. As variáveis meteorológicas utilizadas para o ajuste das imagens (T e UR) foram obtidas a partir de um termohigrômetro digital com faixa de medição da T de -10 a 60 °C e UR de 10 a 99%; resolução da T de 0,1 °C e UR de 1%; e exatidão da T de  $\pm 1$  °C e UR de  $\pm 5\%$ .

Posteriormente, realizou-se a extração das matrizes referentes as bandas das imagens térmicas, totalizando 200 *pixels*, com um grid de 10 x 20 e área de 25 mm<sup>2</sup>, com espaçamento de 5 mm. Esta área levou em consideração a resolução espacial da matriz em *Dots per Inch* (DPI) que representou o número de pontos encontrados em uma polegada de uma determinada imagem (GONZALEZ et al., 2010). Os pontos desta matriz foram espaçados em 5 mm, sendo obtida uma matriz de 45 x 95 mm (Figura 6).



**Figura 6.** Regiões do corpo do animal selecionadas para extração da matriz de temperatura de pelame (A); matriz amostral de 45 x 95 mm (B).

As áreas selecionadas nas imagens térmicas permitiram a extração das matrizes referentes a temperatura da cabeça ( $T_{cab}$ , °C), a temperatura da canela ( $T_{can}$ , °C), a temperatura do dorso ( $T_{dor}$ , °C) e a temperatura do úbere ( $T_{úbe}$ , °C), em que cada ponto da matriz continha um valor da respectiva temperatura de superfície. A partir dos valores extraídos foi determinada a temperatura da pele ( $T_{pel}$ , °C) do animal, de acordo com a Eq. 3 (Pinheiro et al., 2000).

$$T_{pel} = 0,10 \times T_{cab} + 0,70 \times T_{dor} + 0,12 \times T_{can} + 0,08 \times T_{úbe} \quad (\text{Eq. 3})$$

em que,

$T_{pel}$  - temperatura da pele (°C);

$T_{cab}$  - temperatura da cabeça (°C);

$T_{dor}$  - temperatura do dorso (°C);

$T_{can}$  - temperatura da canela (°C);

$T_{úbe}$  - temperatura do úbere (°C).

A temperatura da cama ( $T_c$ , °C) foi registrada por meio da câmera termográfica por infravermelho (modelo Flir i60), distância focal de 1,00 m e emissividade ajustada para 0,90 de acordo com Chen e Chen (2016). Contudo, para esse registro da temperatura da cama, removeu-

se uma camada de 0,05 m para obtenção da imagem térmica da superfície da cama, obedecendo o espaçamento de  $5 \times 5$  m, totalizando 44 imagens para cada horário (9:00, 12:00 e 15:00 h). O tratamento das imagens foi o mesmo empregado para as imagens da temperatura da pele dos animais.

#### 6.4.2. Município de Quixadá – Ceará (instalação 2)

A temperatura da superfície da pele foi registrada por meio de uma câmera termográfica (modelo FLIR E4 with MSX<sup>®</sup> Enhancement – 80x60), distância focal de 2,00 m e emissividade ajustada para 0,98, conforme descrito por Diniz et al. (2020). O tratamento das imagens térmicas foi realizado por meio do programa FLIR QuickReport<sup>®</sup>, com ajuste dos valores de emissividade, através da T<sub>air</sub> e UR obtidas no momento do registro da imagem, padronizando as leituras em toda a superfície corporal do animal.

Os registros das imagens termográficas foram realizados antes e depois da primeira e segunda ordenha. O ajuste da emissividade com base na T<sub>air</sub> e UR, foi feito conforme os dados registrados pelo HOBO (Figura 3). A partir das imagens registradas dos 4 animais na primeira e segunda ordenha, foi extraído os valores médios da temperatura da cabeça (T<sub>cabeça</sub>), temperatura do dorso (T<sub>dorso</sub>), temperatura do úbere (T<sub>úbere</sub>), temperatura da canela (T<sub>canela</sub>). Posteriormente foi determinado a temperatura da pele dos animais através da Eq. 3.

A temperatura da cama (T<sub>c</sub>, °C) foi registrada por meio de um termômetro por infravermelho, no qual, o registro da T<sub>c</sub> foi feito rente a cama do sistema *compost barn*. Foi estabelecido um espaçamento de  $2,5 \times 2,5$  m, totalizando 48 registros pontuais a cada horário de coleta (08:00 e 15:30 h).

Foi feita ainda o registro da temperatura vaginal (T<sub>vag</sub>) em quatro vacas primíparas e quatro multíparas, por meio de data logger intravaginais (Thermochron ibutton. KY -USA) acoplados a um PRIMER, livre de resíduos de hormônios. A unidade logger foi então inserida aproximadamente 20 cm na cavidade vaginal, conforme descrito por Verwoerd et al. (2006). O registro foi feito em um período de 24 horas, programados para realizar o registro em intervalos de 15 min.

### 6.5. Análises estatísticas

#### 6.5.1. Estatística descritiva

Os dados meteorológicos coletados, temperatura da pele animal, temperatura da cama e índice de conforto térmico foram submetidos à análise estatística descritiva, para obtenção da média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV, %). O CV foi classificado como baixo (CV

< 12%); médio (quando estiver  $12\% < CV < 24\%$ ) e alto (quando o  $CV > 24\%$ ) – (WARRICK e NIELSEN, 1980). Posteriormente, aplicou-se o teste de normalidade de Kolmogorov–Smirnov ( $p \leq 0,01$ ).

### 6.5.2. Modelagem geoestatística

Os dados foram submetidos a análise de geoestatística realizada com base no cálculo das semivariâncias clássicas (Eq. 4), que estimou a estrutura e a dependência espacial entre os pares de observações.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \quad (\text{Eq. 4})$$

em que,

$\gamma(h)$  - é o estimador da semivariância experimental, obtida pelos valores amostrados  $Z(X_i)$ ,  $Z(X_i+h)$ ;

$N(h)$  - é o número de pares de valores medidos separados pelo vetor ou distância de atraso;

$h$  - é a distância entre pares amostrais (i.e., é a distância entre duas amostras);

$Z(X_i)$  e  $Z(X_i+h)$  - são os valores da  $i$ -ésima observação da variável regionalizada, coletados nos pontos  $X_i$  e  $X_i+h$  ( $i = 1, \dots, n$ ), separados pelo vetor  $h$ .

A dependência espacial foi analisada por meio do ajuste do semivariograma com base na estimativa da semivariância utilizando o programa GEO-EAS® (ENGLAND et al., 1989). Os dados foram ajustados aos modelos esférico, exponencial e gaussiano (Eqs. 5, 6 e 7), respectivamente, de acordo com Deutsch et al. (1998). Os modelos esférico, exponencial e gaussiano são denominados na literatura de modelos teóricos transitivos, e mais comuns para ajustes dos semivariogramas (GOIS et al., 2015).

Modelo Esférico:

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \cdot \left[ 1,5 \frac{h}{a} - 0,5 \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right], & \text{para } 0 \leq h \leq a \\ C_0 + C, & \text{para } h > a \end{cases} \quad (\text{Eq. 5})$$

Modelo Exponencial:

$$\gamma(h) = C_0 + C \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{3h}{a}\right) \right] \quad (\text{Eq. 6})$$

Modelo Gaussiano:

$$\gamma(h) = C_0 + C \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{(3h)^2}{a^2}\right) \right] \quad (\text{Eq. 7})$$

em que,

$\gamma(h)$  - é o estimador da semivariância experimental;

$C_0 + C$  - é o patamar (i.e., é o efeito pepita mais a dispersão da variância, dado pelas siglas  $C_0$  e  $C$ , respectivamente);

$h$  - é a distância entre pares amostrais;

$a$  - é o alcance (m).

Os melhores modelos dos semivariogramas ajustados foram validados pela validação cruzada do teste de Jack-Knifing, em que a média deve ser próxima a zero e o desvio-padrão próximo a 1 (e.g., VAUCLIN et al., 1983), o programa utilizado para essa análise foi o GEO-EAS<sup>®</sup> (ENGLAND et al., 1989). O grau de dependência espacial (GDE) foi classificado de acordo com Cambardella et al. (1994), que sugere dependência forte (Ft) (GDE < 25%); dependência moderada (Md) (GDE entre 25 e 75%) e dependência fraca (Fc): (GDE > 75%) conforme representado na Eq. 8. Para a confecção dos mapas de krigagem foi utilizado o programa Surfer 9 (Golden Software, 2010).

$$\text{GDE}(\%) = \frac{C_0}{C_0 + C_1} \quad (\text{Eq. 8})$$

### 6.5.3. Análise de agrupamento (AA) e aplicação do Coeficiente de Correlação Cofenética (CCC)

A técnica de análise de agrupamento (AC) foi aplicada a temperatura vaginal ( $T_{\text{vag}}$ ), aos dados meteorológicos registrados e índice de conforto térmico a fim de verificar qual (is) a principal (is) variável (is) preditoras que tem influência sob a  $T_{\text{vag}}$  das vacas leiteiras, objetivando estabelecer um modelo de regressão múltipla e não-linear. No estudo, o método hierárquico aglomerativo de ligação foi selecionado com base no valor do Coeficiente de

Correlação Cofenética (CCC) estabelecendo como significativo o valor superior a 0,7 (CCC>0,7) (OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2021) e o valor-p a 99% de significância (valor-p<0,01). Os métodos empregados e testados neste estudo foram: ligação simples, ligação completa, ligação média entre grupo, método de Ward, método de Ward (d2), método da mediana, método do centroide e o método mcquitty. No estudo a medida de dissimilaridade utilizada foi o quadrado da distância euclidiana Eq. (9).

$$d_e = \left[ \sum_{j=1}^n (P_{p,j} - P_{k,j})^2 \right]^{0,5} \quad (\text{Eq. 9})$$

em que,  $d_e$  é a distância euclidiana; e  $P_{p,j}$  e  $P_{k,j}$  são as variáveis quantitativas  $j$  dos indivíduos  $p$  e  $k$ , respectivamente.

O grau de ajuste do linkage foi avaliado utilizando o coeficiente de correlação cofenética (CCC). Este coeficiente mede a associação entre a matriz de dissimilaridade (matriz fenética  $F$ ) e a matriz resultante da simplificação proporcionada pelo método de agrupamento (matriz cofenética  $c$ ). O CCC é baseado no coeficiente de Pearson ( $r$ ), que é calculado entre a matriz de dissimilaridade e a matriz resultante do processo de agrupamento (SOKAL e ROHLF, 1962). Assim, quanto maior o valor de  $r$ , menor a distorção. Na prática, dendrogramas com CCC < 0,7 indicam a inadequação da técnica de AC (SOKOL e ROHLF, 1962; OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2021). O CCC é definido pelas Eqs. (10, 11 e 12).

$$CCC = r_{\text{coph}} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>i}^n (c_{ij} - \bar{c})(d_{ij} - \bar{d})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>i}^n (c_{ij} - \bar{c})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>i}^n (d_{ij} - \bar{d})^2}} \quad (\text{Eq. 10})$$

$$\bar{c} = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>i}^n c_{ij} \quad (\text{Eq. 11})$$



$$\bar{d} = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>i}^n d_{ij} \quad (\text{Eq. 12})$$

onde, CCC é o coeficiente de correlação cofenética,  $c_{ij}$  e  $d_{ij}$  são elementos da  $i$ -ésima linha e  $j$ -ésima coluna da matriz de distância cofenética e original, respectivamente, e  $n$  é o número de elementos. Em que  $\bar{c}$  e  $\bar{d}$  são as médias aritméticas de  $c_{ij}$  e  $d_{ij}$ , respectivamente, definidas pelas Eqs. (11) e (12).

#### 6.5.4. Análise de componentes principais (ACP), correlação por componentes principais (CCP) e correlação de Pearson

Foi empregada uma análise de componentes principais (ACP) e uma análise de correlação por componentes principais (CCP), com admissão das variáveis meteorológicas, variáveis fisiológicas dos animais, temperatura da cama e índices de conforto. Baseando-se nas componentes principais (PC) obteve-se a matriz de covariância para extração dos autovalores que originam os autovetores. Para identificação das variáveis que apresentaram correlação foi utilizado o critério de Kaiser, sendo considerado os autovalores superiores a 1, que geram componentes com quantidade relevante de informação contida nos dados originais (KAISER, 1958). Foi realizada ainda a correlação de Pearson ( $r$ ) para todas as variáveis, buscando correlacionar com a PCA, de forma a evidenciar as semelhanças entre as variáveis. O programa utilizado para essas análises foi o software ambiente R versão 4.0.3 (R Core Team, 2020).

#### 6.5.5. Modelo de regressão múltipla e regressão não linear

A fim de estabelecer um modelo de regressão múltipla e não linear para prever a temperatura vaginal ( $T_{\text{vag}}$ ) dos animais e prever um índice de conforto térmico em sistema *compost barn* (ITU), baseou-se nas correlações observadas na ACP, CCP e correlação de Pearson, buscando verificar as principais variáveis que possuem relação com a  $T_{\text{vag}}$  e o ITU empregado neste estudo. Foi verificado dentre as principais variáveis, aquela (as) que apresentar (em) maior coeficiente de determinação ( $R^2 > 0.7$ ), a fim de reduzir as principais relevância e correlação com as variáveis respostas. As análises foram realizadas no software Minitab, versão 20.

## 7. Referências

- ALONSO, M. E.; GONZÁLEZ-MONTAÑA, J. R.; LOMILLOS, J. M. Consumers' concerns and perceptions of farm animal welfare. **Animals**, v. 10, n. 3, p. 385, 2020. <https://doi.org/10.3390/ani10030385>
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- AMAMOU, H.; BECKERS, Y.; MAHOUACHI, M.; HAMMAMI, H. Thermotolerance indicators related to production and physiological responses to heat stress of holstein cows. **Journal of Thermal Biology**, v. 82, p. 90-98, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.03.016>
- ANDRADE, R. R.; TINÔCO, I. D. F. F.; DAMASCENO, F. A.; FREITAS, L. C. D. S. R.; FERREIRA, C. D. F. S.; BARBARI, M.; BAPTISTA, F. J. F.; REZENDE COELHO, D. J. Spatial distribution of bed variables, animal welfare indicators, and milk production in a closed compost-bedded pack barn with a negative tunnel ventilation system. **Journal of Thermal Biology**, p. 103111, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.103111>
- ARMSTRONG, D. V. Heat stress interaction with shade and cooling. **Journal of Dairy Science**, v. 77, n. 7, p. 2044-2050, 1994. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77149-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77149-6)
- BAETA, F. C.; MEADOR, N. F.; SHANKLIN, M. D.; JOHNSON, H. D. Equivalent temperature index at temperatures above the thermoneutral for lactating dairy cows. **American Society of Agricultural Engineers (USA)**, 1987.
- BARRETO, C. D.; ALVES, F. V.; OLIVEIRA RAMOS, C. E. C.; PAULA LEITE, M. C.; LEITE, L. C.; JUNIOR, N. K. Infrared thermography for evaluation of the environmental thermal comfort for livestock. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, n. 5, p. 881-888, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01878-0>
- BATISTA, P. H. D.; ALMEIDA, G. L. P.; PANDORFI, H.; SILVA, M. V.; SILVA, R. A. B.; SILVA, J. L. B.; SANTANA, T. C.; RODRIGUES, J. A. M. Thermal images to predict the thermal comfort index for Girolando heifers in the Brazilian semiarid region. **Livestock Science**, v. 251, p. 104667, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104667>
- BECK, H. E.; ZIMMERMANN, N. E.; McVICAR, T. R.; VERGOPOLAN, N.; BERG, A.; WOOD, E. F. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, v. 5, p. 180214, 2018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>

- BERMAN, A.; HOROVITZ, T.; KAIM, M.; GACITUA, H. A comparison of THI indices leads to a sensible heat-based heat stress index for shaded cattle that aligns temperature and humidity stress. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, n. 10, p. 1453-1462, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1136-9>
- BIN-JUMAH, M.; ABD EL-HACK, M. E.; ABDELNOUR, S. A.; HENDY, Y. A.; GHANEM, H. A.; ALSAFY, S. A.; KHAFAGA, A. F.; NORELDIN, A. E.; SHAHEEN, H.; SAMAK, D.; MOMENAH, M. A.; ALLAM, A. A.; ALKAHTANE, A. A.; ALKAHTANI, S.; ABDEL-DAIM, M. M.; ALEYA, L. Potential use of chromium to combat thermal stress in animals: A review. **Science of the Total Environment**, v. 707, p. 135996, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135996>
- BRAN, J. A.; COSTA, J. H.; VON KEYSERLINGK, M. A.; HÖTZEL, M. J. Factors associated with lameness prevalence in lactating cows housed in freestall and compost-bedded pack dairy farms in southern Brazil. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 172, p. 104773, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.104773>
- BRETTAS, P. K. M.; MATTOS NASCIMENTO, M. R. B.; GUIMARÃES, E. C.; SOUZA, G. P. Most Appropriate Heat Stress Index for Half-blood Dairy Heifers. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 45, n. 1, p. 8, 2017. <https://doi.org/10.22456/1679-9216.80577>
- BROOM, D. M. Animal welfare in the European Union. **Animal welfare in the European Union**, 2017.
- BROWN-BRANDL, T. M.; EIGENBERG, R. A.; NIENABER, J. A.; HAHN, G. L. Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, Part 1: Analyses of indicators. **Biosystems Engineering**, v. 90, n. 4, p. 451-462, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.12.006>
- BUFFINGTON, D. E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G. H.; PITT, D.; THATCHER, W. W.; COLLIER, R. J. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, v. 24, n. 3, p. 711-0714, 1981. <https://doi.org/10.13031/2013.34325>
- BULLER, H.; BLOKHUIS, H.; JENSEN, P.; KEELING, L. Towards farm animal welfare and sustainability. **Animals**, v. 8, n. 6, p. 81, 2018. <https://doi.org/10.3390/ani8060081>
- BURNEY, J.; CESANO, D.; RUSSELL, J.; LA ROVERE, E.L.; CORRAL, T.; COELHO, N.S.; SANTOS, L., 2014. Climate change adaptation strategies for smallholder farmers in the Brazilian Sertão. **Climatic Change**, v. 126, n. 1, p. 45-59. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1186-0>

- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society Amsterdam Journal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>
- CARDOSO, C. S.; VON KEYSERLINGK, MA. G.; HÖTZEL, M. J. Views of dairy farmers, agricultural advisors, and lay citizens on the ideal dairy farm. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 2, p. 1811-1821, 2019. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14688>
- CHAPA, J. M.; MASCHAT, K.; IWERSEN, M.; BAUMGARTNER, J.; DRILLICH, M. Accelerometer systems as tools for health and welfare assessment in cattle and pigs—a review. **Behavioural Processes**, p. 104262, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2020.104262>
- CHEN, H. Y.; CHEN, C. Determining the emissivity and temperature of building materials by infrared thermometer. **Construction and Building Materials**, v. 126, p. 130-137, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.027>
- COSTA, J. H.; BURNETT, T. A.; VON KEYSERLINGK, M. A.; HÖTZEL, M. J. Prevalence of lameness and leg lesions of lactating dairy cows housed in southern Brazil: Effects of housing systems. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 3, p. 2395-2405, 2018. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13462>
- CRUVINEL, L. M.; PAULA, L. C.; OLIVEIRA, E. M. B.; VALENTE, T. N. P.; ARAUJO, M. S.; RIBEIRO, J. C.; SANTOS, W. B. R. Thermal comfort estimation for dairy cows in the south of Gois State, Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 14, n. 27, p. 1163-1168, 2019. <https://doi.org/10.5897/AJAR2019.14113>
- DENIZ, M.; SCHMITT FILHO, A. L.; HÖTZEL, M. J.; SOUSA, K. T.; MACHADO FILHO, L. C. P.; SINISGALLI, P. A. Microclimate and pasture area preferences by dairy cows under high biodiversity silvopastoral system in Southern Brazil. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, n. 11, p. 1877-1887, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01975-0>
- DEUTSCH, C. V.; JOURNEL, A. G. (1998). *GSLIB Geostatistical Software Library and User's Guide*. Second ed., Oxford University Press, New York, p. 369, 1998.
- DINIZ, T. A.; CARVALHO, C. C. S.; RUAS, J. R. M.; SANTOS, H. P.; MONÇÃO, F. P.; SILVA, E. A.; COSTA, M. D.; ROCHA JÚNIOR, V. R. Análise termográfica aplicada na produção de calor corporal de vacas F1 HxZ manejadas em diferentes microclimas. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 72, p. 545-552, 2020. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-11107>

- ECKELKAMP, E. A.; TARABA, J. L.; AKERS, K. A.; HARMON, R. J. Understanding compost bedded pack barns: Interactions among environmental factors, bedding characteristics, and udder health. **Livestock Science**, v. 190, p. 35-42, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.05.017>
- EGGEL, M.; NEUHAUS, C. P.; GRIMM, H. Reevaluating Benefits in the Moral Justification of Animal Research: A Comment on “Necessary Conditions for Morally Responsible Animal Research”. **Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics**, v. 29, n. 1, p. 131-143, 2020. <https://doi.org/10.1017/S0963180119000860>
- ENGLAND, E. J.; SPARKS, A.; ROBINSON, M. D. Geo—EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software). **Environmental Software**, v. 4, n. 2, p. 70-75, 1989. [https://doi.org/10.1016/0266-9838\(89\)90033-6](https://doi.org/10.1016/0266-9838(89)90033-6)
- FAGUNDES, B.; DAMASCENO, F.; ANDRADE, R.; OBANDO, F.; ALEXANDER, J.; BARBARI, M.; NASCIMENTO, J. Comparison of airflow homogeneity in Compost Dairy Barns with different ventilation systems using the CFD model. **Agronomy Research**, v. 18, p. 788-796, 2020. <https://doi.org/10.15159/AR.20.106>
- FAO. **Livestock Processed**. 2020. Avaliado em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QP/visualize>>. Acesso em: 7 de janeiro de 2021.
- FERNÁNDEZ, A.; MAINAU, E.; MANTECA, X.; SIURANA, A.; CASTILLEJOS, L. Impacts of compost bedded pack barns on the welfare and comfort of dairy cows. **Animals**, v. 10, n. 3, p. 431, 2020. <https://doi.org/10.3390/ani10030431>
- FRANCHI, G. A.; GARCIA, P. R.; SILVA, I. J. O. Welfare quality applied to the Brazilian dairy cattle. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 2, n. 2, p. 60-65, 2014. <http://dx.doi.org/10.14269/2318-1265.v02n02a04>
- GAUGHAN, J. B.; MADER, T. L.; HOLT, S. M.; LISLE, A. A new heat load index for feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, v. 86, n. 1, p. 226-234, 2008. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0305>
- GERNAND, E.; KÖNIG, S.; KIPP, C. Influence of on-farm measurements for heat stress indicators on dairy cow productivity, female fertility, and health. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 7, p. 6660-6671, 2019. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16011>
- GIAMBRA, I. J.; JAHAN, Y.; YIN, T.; ENGEL, P.; WEIMANN, C.; BRÜGEMANN, K.; KÖNIG, S. Identification of Thermophilic Aerobic Sporeformers in Bedding Material of Compost-Bedded Dairy Cows Using Microbial and Molecular Methods. **Animals**, v. 11, n. 10, p. 2890, 2021. <https://doi.org/10.3390/ani11102890>

- GIESEKE, D.; LAMBERTZ, C.; GAULY, M. Relationship between herd size and measures of animal welfare on dairy cattle farms with freestall housing in Germany. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 8, p. 7397-7411, 2018. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14232>
- GOIS, G.; DELGADO, R. C.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F. Modelos teóricos transitivos aplicados na interpolação espacial do Standardized Precipitation Index (SPI) para os episódios de El Niño forte no Estado do Tocantins, Brasil. **Irriga**, v. 20, n. 2, p. 371-387, 2015. <https://doi.org/10.15809/irriga.2015v20n2p371>
- GOLDEN SOFTWARE. **Surfer for windows version 9.0**. Colorado: Golden, 2010. 66p.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E.; EDDINS, S. L. Morphological reconstruction. **Digital image processing using MATLAB**, MathWorks, 2010.
- GORI MAIA, A.; SILVEIRA, R. L. F. D.; VENEIO CAMPOS FONSECA, C.; BURNEY, J.; CESANO, D. Climate resilience programmes and technical efficiency: evidence from the smallholder dairy farmers in the Brazilian semi-arid region. **Climate and Development**, p. 1-11, 2021. <https://doi.org/10.1080/17565529.2021.1904812>
- GRAAF, S.; AMPE, B.; BUIJS, S.; ANDREASEN, S.; DES ROCHES, A. D. B.; HASKELL, M. J.; KIRCHNER, M.; MOUNIER, L.; RADESKI, M.; WINCKLER, C.; BIJTTEBIER, J.; LAUWERS, L.; VERBEKE, W.; TUYTTENS, F. Sensitivity of the integrated Welfare Quality® scores to changing values of individual dairy cattle welfare measures. **Animal Welfare**, v. 27, n. 2, p. 157-166, 2018. <https://doi.org/10.7120/09627286.27.2.157>
- GRIMARD, B.; DES ROCHES, A. D. B.; COIGNARD, M.; LEHEBEL, A.; CHUITON, A.; MOUNIER, L.; VEISSIER, I.; GUATTEO, R.; BAREILLE, N. Relationships between welfare and reproductive performance in French dairy herds. **The Veterinary Journal**, v. 248, p. 1-7, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2019.03.006>
- HATFIELD, J. L.; ANTLE, J.; GARRETT, K. A.; IZAURRALDE, R. C.; MADER, T.; MARSHALL, E.; NEARING, M.; ROBERTSON, G. P.; ZISKA, L. Indicators of climate change in agricultural systems. **Climatic Change**, v. 163, n. 4, p. 1719-1732, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2222-2>
- HERBUT, P.; ANGRECKA, S. Relationship between THI level and dairy cows' behaviour during summer period. **Italian Journal of Animal Science**, v. 17, n. 1, p. 226-233, 2018. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1333892>
- HERBUT, P.; ANGRECKA, S.; GODYŃ, D.; HOFFMANN, G. The physiological and productivity effects of heat stress in cattle—a review. **Annals of Animal Science**, v. 19, n. 3, p. 579-593, 2019. <https://doi.org/10.2478/aoas-2019-0011>

- HERBUT, P.; ANGRECKA, S.; WALCZAK, J. Environmental parameters to assessing of heat stress in dairy cattle—a review. **International Journal of Biometeorology**, v. 62, n. 12, p. 2089-2097, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1629-9>
- HONORATO, L. A.; MACHADO FILHO, L. C. P.; SILVEIRA, I. B.; HÖTZEL, M. J. Strategies used by dairy family farmers in the south of Brazil to comply with organic regulations. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 3, p. 1319-1327, 2014. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6532>
- HÖTZEL, M. J.; MOTA, S. M.; LUDTKE, C. B.; POLETTTO, R. Conhecimento e atitudes de inspetores oficiais de frigoríficos do sul do Brasil em relação ao bem-estar animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 47, 2018. <https://doi.org/10.1590/rbz4720170065>
- IFC - INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION. **Improving Animal Welfare in Livestock Operations**. World Bank, 2014.
- INMET. **NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DO BRASIL**. 2021. online. Avaliado em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em 25 de agosto de 2021.
- Jl, B.; BANHAZI, T.; GHAHRAMANI, A.; BOWTELL, L.; WANG, C.; LI, B. Modelling of heat stress in a robotic dairy farm. Part 1: Thermal comfort indices as the indicators of production loss. **Biosystems Engineering**, v. 199, p. 27-42, 2020a. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.11.004>
- Jl, B.; BANHAZI, T.; GHAHRAMANI, A.; BOWTELL, L.; WANG, C.; LI, B. Modelling of heat stress in a robotic dairy farm. Part 2: Identifying the specific thresholds with production factors. **Biosystems Engineering**, v. 199, p. 43-57, 2020b. Modelling of heat stress in a robotic dairy farm. Part 2: Identifying the specific thresholds with production factors. **Biosystems Engineering**, v. 199, p. 43-57, 2020b. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.11.005>
- JUNIOR, N. K.; MIYAGI, E. S.; OLIVEIRA, C. C.; MASTELARO, A. P.; AGUIAR COELHO, F.; BAYMA, G.; BUNGENSTAB, A. J.; ALVES, F. V. Spatiotemporal variations on infrared temperature as a thermal comfort indicator for cattle under agroforestry systems. **Journal of Thermal Biology**, v. 97, p. 102871, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102871>
- KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v. 23, n. 3, 187-200, 1958. <https://doi.org/10.1007/BF02289233>

- KASHYAP, D. R.; DADHICH, K. S.; SHARMA, S. K. Biomethanation under psychrophilic conditions: a review. **Bioresource Technology**, v. 87, n. 2, p. 147-153, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00205-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00205-5)
- KOGO, B. K.; KUMAR, L.; KOECH, R. Climate change and variability in Kenya: a review of impacts on agriculture and food security. **Environment, Development and Sustainability**, v. 23, n. 1, p. 23-43, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00589-1>
- LEES, A. M.; SEJIAN, V.; WALLAGE, A. L.; STEEL, C. C.; MADER, T. L.; LEES, J. C.; GAUGHAN, J. B. The impact of heat load on cattle. **Animals**, v. 9, n. 6, p. 322, 2019. <https://doi.org/10.3390/ani9060322>
- LEGG, W. Sustainable agricultural development for food security and nutrition: what roles for livestock?. 2017. **91<sup>o</sup> Annual Conference**, April 24-26, 2017, Royal Dublin Society, Dublin, Ireland 258657, Agricultural Economics Society.
- LESO, L.; BARBARI, M.; LOPES, M. A.; DAMASCENO, F. A.; GALAMA, P.; TARABA, J. L.; KUIPERS, A. Invited review: Compost-bedded pack barns for dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 103, n. 2, p. 1072-1099, 2020. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16864>
- LEVIT, H.; PINTO, S.; AMON, T.; GERSHON, E.; KLEINJAN-ELAZARY, A.; BLOCH, V.; BEN MEIR, Y.A.; PORTNIK, Y.; JACOBY, S.; ARNIN, A.; MIRON, J.; HALACHMI, I.; HALACHMI, I. Dynamic cooling strategy based on individual animal response mitigated heat stress in dairy cows. **Animal**, p. 100093, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100093>
- LI, G.; CHEN, S.; CHEN, J.; PENG, D.; GU, X. Predicting rectal temperature and respiration rate responses in lactating dairy cows exposed to heat stress. **Journal of Dairy Science**, v. 103, n. 6, p. 5466-5484, 2020. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16411>
- LIU, J.; LI, L.; CHEN, X.; LU, Y.; WANG, D. Effects of heat stress on body temperature, milk production, and reproduction in dairy cows: A novel idea for monitoring and evaluation of heat stress—A review. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 32, n. 9, p. 1332, 2019. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0743>
- LOBECK, K. M.; ENDRES, M. I.; SHANE, E. M.; GODDEN, S. M.; FETROW, J. Animal welfare in cross-ventilated, compost-bedded pack, and naturally ventilated dairy barns in the upper Midwest. **Journal of Dairy Science**, v. 94, n. 11, p. 5469-5479, 2011. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4363>
- LOPES, I.; SILVA, M. V.; MELO, J. M.; MONTENEGRO, A. A. D. A.; PANDORFI, H. Geostatistics applied to the environmental mapping of aviaries. Revista **Brasileira de**



- Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 409-414, 2020. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n6p409-414>
- MACHADO, N. A.; COSTA, L. B.; BARBOSA-FILHO, J. A.; OLIVEIRA, K. P.; SAMPAIO, L. C.; PEIXOTO, M. S.; DAMASCENO, F. A. Using infrared thermography to detect subclinical mastitis in dairy cows in compost barn systems. **Journal of Thermal Biology**, v. 97, p. 102881, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102881>
- MADER, T. L.; DAVIS, M. S.; BROWN-BRANDL, T. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 3, p. 712-719, 2006. <https://doi.org/10.2527/2006.843712x>
- MADER, T. L.; DAVIS, M. S.; BROWN-BRANDL, T. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 3, p. 712-719, 2006. <https://doi.org/10.2527/2006.843712x>
- MADER, T. L.; JOHNSON, L. J.; GAUGHAN, J. B. A comprehensive index for assessing environmental stress in animals. **Journal of Animal Science**, v. 88, n. 6, p. 2153-2165, 2010. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2586>
- MARCONDES, M. I.; MARIANO, W. H.; DE VRIES, A. Production, economic viability and risks associated with switching dairy cows from drylots to compost bedded pack systems. **Animal**, v. 14, n. 2, p. 399-408, 2020. <https://doi.org/10.1017/S1751731119001848>
- MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; ALVALA, R.; CUNHA, A. P.; BRITO, S.; MORAES, O. L. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, p. 1973-1985, 2017. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>
- MARENGO, J. A.; CHOU, S. C.; KAY, G.; ALVES, L. M.; PESQUERO, J. F.; SOARES, W. R.; SANTOS, D. C.; LYRA, A. A.; SUEIRO, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D. J.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J. F.; TAVARES, P. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins. **Climate Dynamics**, v. 38, n. 9-10, p. 1829-1848, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1155-5>
- MOTA, V. C.; ANDRADE, E. T.; LEITE, D. F. Caracterização da variabilidade espacial dos índices de conforto animal em sistemas de confinamento Compost Barn. **Pubvet**, v. 13, p. 170, 2019. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n3a276.1-14>
- NÄÄS, I. D. A. Princípios de conforto térmico na produção animal. **São Paulo: Ícone**, pp. 183, 1989.

- NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. A guide to environmental research on animals. National Academies, 1971.
- OGUNDEJI, A. A.; LAKEW, H.; TESFUHUNEY, W.; LOMBARD, W. Influence of heat stress on milk production and its financial implications in semi-arid areas of South Africa. **Heliyon**, v. 7, n. 2, p. e06202, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06202>
- OLIVEIRA JÚNIOR, A. J.; SANTOS SOUSA, G.; DAL PAI, E.; ALMEIDA, O. C. P.; NETO, M. M.; SIMÕES, R. P.; SOUZA, S. R. L. System for assessing broilers thermal comfort. **Smart Agricultural Technology**, v. 1, p. 100007, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2021.100007>
- 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, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.014>
- OLIVEIRA JÚNIOR, A. J.; SOUZA, S. R. L.; DAL PAI, E.; RODRIGUES, B. T.; SOUZA, V. C. Aurora: Mobile application for analysis of spatial variability of thermal comfort indexes of animals and people, using IDW interpolation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 157, p. 98-101, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.029>
- OLIVEIRA, C. E. A.; DAMASCENO, F. A.; FERRAZ, P. F. P.; NASCIMENTO, J. A. C.; FERRAZ, G. A. S.; BARBARI, M. Geostatistics applied to evaluation of thermal conditions and noise in compost dairy barns with different ventilation systems. **Agronomy Research**, v. 17, n. 3, p. 783-796, 2019. <https://doi.org/10.15159/AR.19.116>
- OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; GOIS, G.; LIMA SILVA, I. J.; OLIVEIRA SOUZA, E.; JARDIM, A. M. D. R. F.; SILVA, M. V.; SHAH, M.; JAMJAREEGULGARN, P. Wet and dry periods in the state of Alagoas (Northeast Brazil) via Standardized Precipitation Index. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 224, p. 105746, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2021.105746>
- PACHECO, V. M.; SOUSA, R. V.; SILVA RODRIGUES, A. V.; SOUZA SARDINHA, E. J.; MARTELLO, L. S. Thermal imaging combined with predictive machine learning based model for the development of thermal stress level classifiers. **Livestock Science**, v. 241, p. 104244, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104244>
- PASSINI, R.; de ALMEIDA, E. A.; NERI, S. C. M.; AKAMINE, L. A.; NASCIMENTO, S. T. Thermal environment in mobile shelters with different cover types used for chicken housing at the semi-extensive rearing system. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, n. 11, p. 1947-1955, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01983-0>

- PEIXOTO, M. S. M.; BARBOSA FILHO, J. A. D.; FARIAS MACHADO, N. A.; VIANA, V. D. S. S.; COSTA, J. F. M. Thermoregulatory behavior of dairy cows submitted to bedding temperature variations in Compost barn systems. **Biological Rhythm Research**, p. 1-10, 2019. <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1616904>
- PILATTI, J. A.; VIEIRA, F. M. C. Environment, behavior and welfare aspects of dairy cows reared in compost bedded pack barns system. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 5, n. 3, p. 97-105, 2017. <http://dx.doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v5n3p97-105>
- PILATTI, J. A.; VIEIRA, F. M. C.; RANKRAPE, F.; VISMARA, E. S. Diurnal behaviors and herd characteristics of dairy cows housed in a compost-bedded pack barn system under hot and humid conditions. **Animal**, v. 13, n. 2, p. 399-406, 2019. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001088>
- PINHEIRO, M. G.; ROMA JÚNIOR, L. C.; LIMA, M. L. P.; NOGUEIRA, J. R.; MACARI, M.; SANTOS, A. L.; LEME, P. R.; NÄÄS, I. A.; LIMA, N. C.; LALONI, L. A.; SIMILI, F. F. Efeito do ambiente da sala de espera sobre a temperatura da pele de vacas da raça Jersey. **37º Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, 2000.
- PINTO, S.; HOFFMANN, G.; AMMON, C.; HEUWIESER, W.; LEVIT, H.; HALACHMI, I.; AMON, T. Effect of two cooling frequencies on respiration rate in lactating dairy cows under hot and humid climate conditions. **Annals of Animal Science**, v. 19, n. 3, p. 821-834, 2019. <https://doi.org/10.2478/aoas-2019-0026>
- PORTO, S. M. C.; D'EMILIO, A.; CASCONI, G. On the influence of the alternation of two different cooling systems on dairy cow daily activities. **Journal of Agricultural Engineering**, v. 48, n. 1, p. 21-27, 2017. <https://doi.org/10.4081/jae.2017.577>
- R Core Team **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2020. URL <https://www.R-project.org/>.
- RAES, D.; MUNOZ, G. The ETo Calculator. **Reference Manual Version**, v. 3, p. 480, 2009.
- RIBEIRO, N. L.; GERMANO COSTA, R.; PIMENTA FILHO, E. C.; RIBEIRO, M. N.; BOZZI, R. Effects of the dry and the rainy season on endocrine and physiologic profiles of goats in the Brazilian semi-arid region. **Italian Journal of Animal Science**, v. 17, n. 2, p. 454-461, 2018. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1393320>
- SAMMAD, A.; UMER, S.; SHI, R.; ZHU, H.; ZHAO, X.; WANG, Y. Dairy cow reproduction under the influence of heat stress. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 104, n. 4, p. 978-986, 2020. <https://doi.org/10.1111/jpn.13257>

- SANTOS, C. A. G.; NASCIMENTO, T. V. M.; SILVA, R. M. Analysis of forest cover changes and trends in the Brazilian semiarid region between 2000 and 2018. **Environmental Earth Sciences**, v. 79, n. 18, p. 1-20, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09158-1>
- SANTOS, F. M.; ARAÚJO, G. G. L.; SOUZA, L. L.; YAMAMOTO, S. M.; QUEIROZ, M. A. Á.; LANNA, D. P. D.; MORAES, S. A. Impact of water restriction periods on carcass traits and meat quality of feedlot lambs in the Brazilian semi-arid region. **Meat Science**, v. 156, p. 196-204, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.05.033>
- SHAHBEIK, S.; AFZAL, P.; MOAREFVAND, P.; QUMARSY, M. Comparison between ordinary kriging (OK) and inverse distance weighted (IDW) based on estimation error. Case study: Dardevey iron ore deposit, NE Iran. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 7, n. 9, p. 3693-3704, 2014. <https://doi.org/10.1007/s12517-013-0978-2>
- SIGDEL, A.; LIU, L.; ABDOLLAHI-ARPANAHI, R.; AGUILAR, I.; PEÑAGARICANO, F. Genetic dissection of reproductive performance of dairy cows under heat stress. **Animal Genetics**, v. 51, n. 4, p. 511-520, 2020. <https://doi.org/10.1111/age.12943>
- SILVA, J. L. B., de ALBUQUERQUE MOURA, G. B., SILVA, M. V., LOPES, P. M. O., SOUZA GUEDES, R. V., e SILVA, Ê. F. F., ORTIZ, P. F. S.; MORAES RODRIGUES, J. A. Changes in the water resources, soil use and spatial dynamics of Caatinga vegetation cover over semiarid region of the Brazilian Northeast. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, 20, 100372, 2020c. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100372>
- SILVA, M. V. D.; ALMEIDA, G. L. P.; PANDORFI, H.; MORAES, A. S.; MACÊDO, G. A. P. A.; BATISTA, P. H. D.; SILVA, R. A. B.; GUISELINI, C. Influence of meteorological elements on behavioral responses of gir cows and effects on milk quality. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 43, 2021. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v43i1.52604>
- SILVA, M. V.; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P.; JARDIM, A. M. D. R. F.; BATISTA, P. H. D.; SILVA, R. A. B.; LOPES, I.; OLIVEIRA, M. E. G.; SILVA, J. L. B.; MORAES, A. S. Spatial variability and exploratory inference of abiotic factors in barn compost confinement for cattle in the semiarid. **Journal of Thermal Biology**, v. 94, p. 102782, 2020a. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102782>
- SILVA, M. V.; PANDORFI, H.; LOPES, P. M. O.; SILVA, J. L. B.; ALMEIDA, G. L. P.; OLIVEIRA SILVA, D. A.; SANTOS, A.; MORAES RODRIGUES, J. A.; BATISTA, P. H. D.; JARDIM, A. M. D. R. F. Pilot monitoring of caatinga spatial-temporal dynamics through the action of agriculture and livestock in the brazilian semiarid. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 19, p. 100353, 2020b. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100353>

- SILVA, R. G.; MAIA, A. S. C.; MACEDO COSTA, L. L. Index of thermal stress for cows (ITSC) under high solar radiation in tropical environments. **International Journal of Biometeorology**, v. 59, n. 5, p. 551-559, 2015. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0868-7>
- SJOSTROM, L. S.; HEINS, B. J.; ENDRES, M. I.; MOON, R. D.; SORGE, U. S. Effects of winter housing system on hygiene, udder health, frostbite, and rumination of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 11, p. 10606-10615, 2019. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15759>
- SKIBIEL, A. L.; DADO-SENN, B.; FABRIS, T. F.; DAHL, G. E.; LAPORTA, J. In utero exposure to thermal stress has long-term effects on mammary gland microstructure and function in dairy cattle. **PLoS One**, v. 13, n. 10, p. e0206046, 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206046>
- SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. The comparison of dendrograms by objective methods. **Taxon**, v. 11, n. 2, p. 33-40, 1962. <https://doi.org/10.2307/1217208>
- SOUSA, K. T.; DENIZ, M.; VALE, M. M.; DITTRICH, J. R.; HÖTZEL, M. J. Influence of microclimate on dairy cows' behavior in three pasture systems during the winter in south Brazil. **Journal of Thermal Biology**, p. 102873, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102873>
- TELLES, T. S.; BACCHI, M. D.; COSTA, G. V.; SCHUNTZEMBERGER, A. Milk production systems in Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, 2020. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020180852>
- THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, v. 12, n. 2, p. 57-61, 1959. <https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>
- THORNTON, P.; NELSON, G.; MAYBERRY, D.; HERRERO, M. Increases in extreme heat stress in domesticated livestock species during the twenty-first century. **Global Change Biology**, v. 27, n. 22, p. 5762-5772, 2021. <https://doi.org/10.1111/gcb.15825>
- VASCONCELOS, A. M.; ALBUQUERQUE, C. C.; CARVALHO, J. F.; FAÇANHA, D. A. E.; LIMA, F. R. G.; SILVEIRA, R. M. F.; FERREIRA, J. Adaptive profile of dairy cows in a tropical region. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, n. 1, p. 105-113, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01797-9>
- VAUCLIN, M.; VIEIRA, S. R.; VACHAUD, G.; NIELSEN, D. R. The Use of Cokriging with Limited Field Soil Observations 1. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47, n. 2, p. 175-184, 1983. <https://doi.org/10.2136/sssaj1983.03615995004700020001x>
- VERWOERD, W.; WELLBY, M.; BARRELL, G. Absence of a causal relationship between environmental and body temperature in dairy cows (*Bos taurus*) under moderate climatic

- conditions. **Journal of Thermal Biology**, v. 31, n. 7, p. 533-540, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2006.07.001>
- VIEIRA, F. M. C.; SOARES, A. A.; HERBUT, P.; VISMARA, E. D. S.; GODYŃ, D.; SANTOS, A. C. Z.; LAMBERTES, T. S.; CAETANO, W. F. Spatio-Thermal Variability and Behaviour as Bio-Thermal Indicators of Heat Stress in Dairy Cows in a Compost Barn: A Case Study. **Animals**, v. 11, n. 5, p. 1197, 2021. <https://doi.org/10.3390/ani11051197>
- WANG, X.; BJERG, B. S.; CHOI, C. Y.; ZONG, C.; ZHANG, G. A review and quantitative assessment of cattle-related thermal indices. **Journal of Thermal Biology**, v. 77, p. 24-37, 2018a. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.08.005>
- WANG, X.; GAO, H.; GEBREMEDHIN, K. G.; BJERG, B. S.; VAN OS, J.; TUCKER, C. B.; ZHANG, G. A predictive model of equivalent temperature index for dairy cattle (ETIC). **Journal of Thermal Biology**, v. 76, p. 165-170, 2018b. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.07.013>
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of Soil Physics**, New York: Academic, v. 2, p. 319-344, 1980.
- Welfare Quality. **Welfare Quality® Assessment Protocol for Cattle**. Consortium, Lelystad, Netherlands. 2009. Disponível em: <[http://www.welfarequalitynetwork.net/media/1088/cattle\\_protocol\\_without\\_veal\\_calves.pdf](http://www.welfarequalitynetwork.net/media/1088/cattle_protocol_without_veal_calves.pdf)>. Acesso em: 22 de novembro de 2021.
- WOLFENSON, D.; ROTH, Z. Impact of heat stress on cow reproduction and fertility. **Animal Frontiers**, v. 9, n. 1, p. 32-38, 2019. <https://doi.org/10.1093/af/vfy027>
- YAN, G.; SHI, Z.; CUI, B.; LI, H. Developing a new thermal comfort prediction model and web-based application for heat stress assessment in dairy cows. **Biosystems Engineering**, v. 214, p. 72-89, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.12.006>
- YUNES, M. C.; OSÓRIO-SANTOS, Z.; VON KEYSERLINGK, M. A.; HÖTZEL, M. J. Gene Editing for Improved Animal Welfare and Production Traits in Cattle: Will This Technology Be Embraced or Rejected by the Public?. **Sustainability**, v. 13, n. 9, p. 4966, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13094966>

CAPÍTULO II: Variabilidade espacial e inferência exploratória de fatores abióticos no  
confinamento *compost barn* para bovinos no semiárido

---

SILVA, M. V.; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P.; JARDIM, A. M. D. R. F.; BATISTA, P. H. D.; SILVA, R. A. B.; LOPES, I.; OLIVEIRA, M. E. G.; SILVA, J. L. B.; MORAES, A. S. Spatial variability and exploratory inference of abiotic factors in barn compost confinement for cattle in the semiarid. **Journal of Thermal Biology (Online)**, v. 94, p. 102782, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102782>

### **Resumo**

A avaliação das condições ambientais na criação de bovinos de leite em confinamento, devem ser realizadas para identificar possíveis causas de estresse e auxiliar os produtores no processo de tomada de decisão. Objetivou-se determinar a variabilidade espacial e a inferência exploratória das variáveis ambientais e da temperatura da cama em um confinamento *Compost Barn* para bovinos de leite no semiárido brasileiro. Os dados foram obtidos em uma unidade de produção de leite, localizada no município de Lajedo, Pernambuco, Brasil, na estação de verão. Foram registradas as variáveis temperatura do ar (T), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (Vv), iluminância (Lux), temperatura da pele (Tp), temperatura da cama (Tc) e determinado o índice de temperatura e umidade (ITU). Os dados foram registrados às 9:00, 12:00 e 15:00 horas. Para análise geoestatística determinou-se as semivariâncias clássicas. Foi realizada análise de componentes principais, a fim de estabelecer um índice que caracterizasse a condição de conforto animal. As variáveis T, UR, Tc e ITU apresentaram baixo coeficiente de variação para todos os horários. O melhor ajuste aos modelos dos semivariogramas foi o gaussiano nos horários das 9:00 e 3:00 horas e, o esférico para 12:00 horas. A variabilidade espacial da Tc foi baixa para todos os horários estudados. A T apresentou forte correlação com a Tc, devido ao processo de transferência de calor por convecção do piso para o ambiente. A geoestatística e a análise exploratória dos dados permitiu estabelecer um índice de conforto para sistemas de produção *Compost Barn* no semiárido brasileiro ( $R^2= 0,996$ ;  $p<0,0001$ ).

**Palavras-chaves:** análise multivariada, conforto animal, estresse térmico, geoestatística.



## **Abstract**

The assessment of environmental conditions in the creation of dairy cattle in feedlots must be carried out to identify possible causes of stress and assist producers in the decision-making process. The objective was to characterize the abiotic factors and bed temperature, in the comfort conditions of dairy cows, through geostatistics and exploratory data inference, in a *Compost Barn* System in the Brazilian semiarid region. The data were obtained in a milk production unit, located in the municipality of Lajedo, Pernambuco, Brazil. The variables air temperature (Tair), relative humidity (RH), wind speed (WS), illuminance (Lux), skin temperature (Ts), bed temperature (Tb) was recorded and the temperature index was determined and humidity (THI). Data were recorded at 9:00 a.m., 12:00 p.m., and 3:00 p.m., over 5 days in the summer season. For geostatistical analysis, the classic semivariances were determined. The principal component analysis was performed to establish an index that characterized the condition of animal comfort. The variables Tair, RH, Tb, and THI showed a low coefficient of variation for all times. The best fit to the models of the semivariograms was the Gaussian at 9:00 a.m. and 3:00 p.m., and the spherical at 12:00 p.m. The Tb spatial variability was low for all studied hours. Tair showed a strong correlation with Tb, due to the process of heat transfer by convection from the floor to the environment. Geostatistics and exploratory data analysis allowed the establishment of a comfort index for *Compost Barn* production systems in the Brazilian semiarid region ( $R^2 = 0.996$ ;  $p < 0.0001$ ).

**Keywords:** multivariate analysis; animal comfort; thermal stress; geostatistics.

## 1. Introdução

O estresse animal devido às altas temperaturas ocorre frequentemente em regiões tropicais e subtropicais (LIU et al., 2017). Condições ambientais com alta temperatura do ar, insolação, baixa umidade relativa do ar e déficit de chuvas são características marcantes do semiárido brasileiro. Essas condições se configuram como um dos principais desafios na criação de gado leiteiro, pois afeta o bem-estar animal e conseqüentemente gera perdas quantitativas e qualitativas no produto (BRETTAS et al., 2017).

A adequação das instalações, com ênfase nas condições de conforto para vacas leiteiras, tem sido comumente utilizada. O *Compost Barn System* (SCB) baseia-se no revestimento do piso do galpão com um material absorvente (palha ou serragem) utilizado como cama. O leito do SCB é caracterizado pelo processo de compostagem orgânica, em uma área de descanso aberta, livre de baias, separada por um corredor de alimentação (WOODFORD et al., 2018; PEIXOTO et al., 2019; PILATTI et al., 2019). O SCB é utilizado em várias regiões do mundo e sua adoção tem aumentado nos últimos 5 anos, principalmente em países tropicais (FÁVERO et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2019; PEIXOTO et al., 2019; PILATTI et al., 2019), devido ao seu baixo custo de construção e menores concentrações de gases nocivos.

As unidades de produção de leite que adotam adequadamente o SCB, vêm apresentando melhorias no conforto animal e no rendimento produtivo (FERNÁNDEZ et al., 2020; LESO et al., 2020; MARCONDES et al., 2020). No entanto, o manejo consiste em revolver o material da cama pelo menos duas vezes ao dia para proporcionar aeração, pois a ausência dessa prática aliada à alta densidade de animais e o desenho incorreto da instalação, podem causar problemas sanitários para o rebanho, como alta contagem de células somáticas, baixas taxas de higiene, mastite (LOBECK et al., 2011; SJOSTROM et al., 2019) e danos à pele dos animais, devido ao aumento da temperatura da cama.

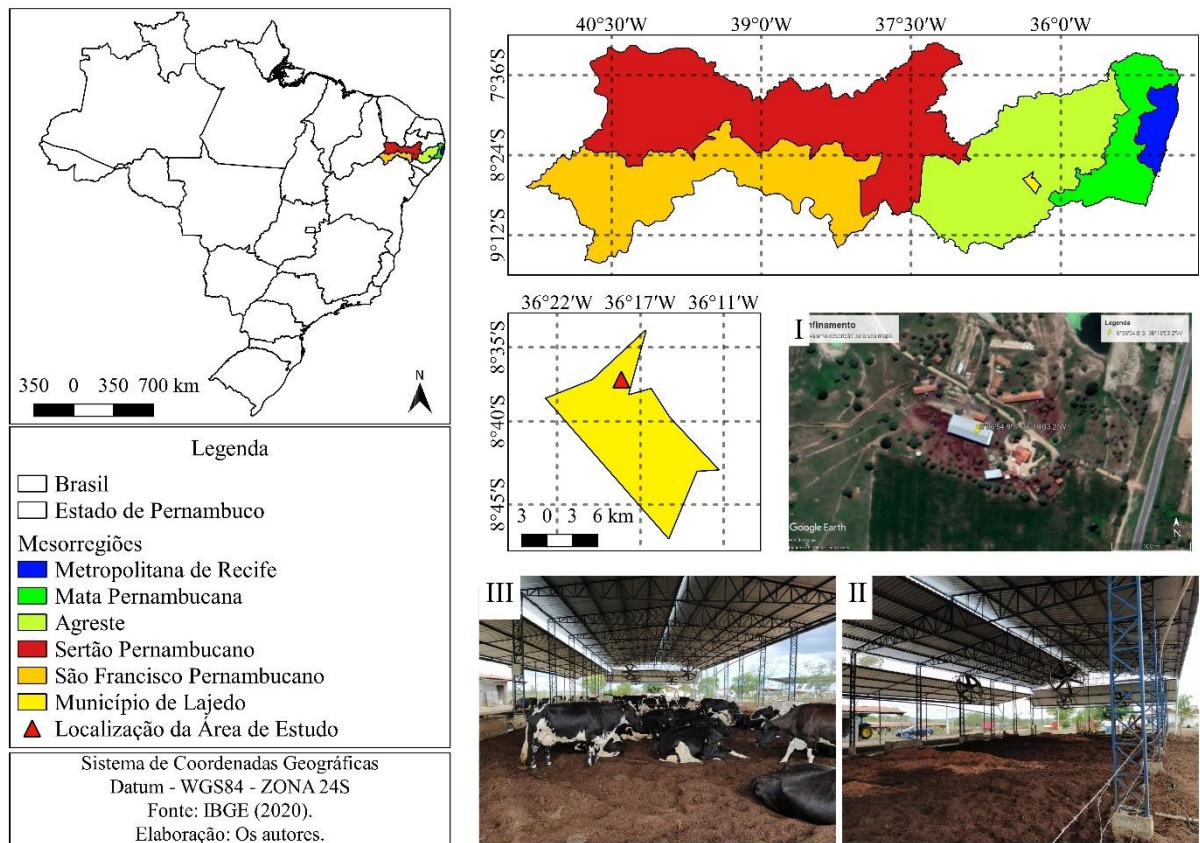
Pesquisas também destaca que o uso do SCB ampliou os problemas com claudicação e lesões em animais, para regiões de clima subtropical (COSTA et al., 2018; BRAN et al., 2019). No entanto, esses estudos não caracterizam o efeito das variáveis ambientais e sua interação com o processo de compostagem da cama no conforto do animal. Alguns estudos visando a variabilidade espacial dos elementos meteorológicos em SCB têm sido desenvolvidos, para caracterizar o ambiente de estudo para clima tropical (OLIVEIRA et al., 2019; DAMASCENO et al., 2019; MOTA et al., 2019) e clima semiárido (PEIXOTO e outros, 2019). No entanto, a maioria das pesquisas associadas ao estudo do meio ambiente em SCB tem sido realizada em regiões de clima tropical e subtropical.

Dessa forma, estudos mais abrangentes, focados em regiões de clima semiárido, permitirão analisar os riscos dos fatores abióticos, bem como seus impactos na higiene das instalações, permitindo aos produtores decisões mais confiáveis sobre o manejo adequado da SCB. O sistema de compostagem de galpões no semiárido brasileiro é um sistema novo, com diversos aspectos que precisam ser estudados e hipóteses a serem afirmadas uma vez que estão sujeitos a altas temperaturas no ambiente externo. Esta pesquisa foi realizada com o objetivo de caracterizar os fatores abióticos e temperatura da cama, nas condições de conforto de vacas leiteiras, por meio de geoestatística e inferência de exploratória de dados, em um sistema *Compost Barn* no semiárido brasileiro.

## **2. Material e métodos**

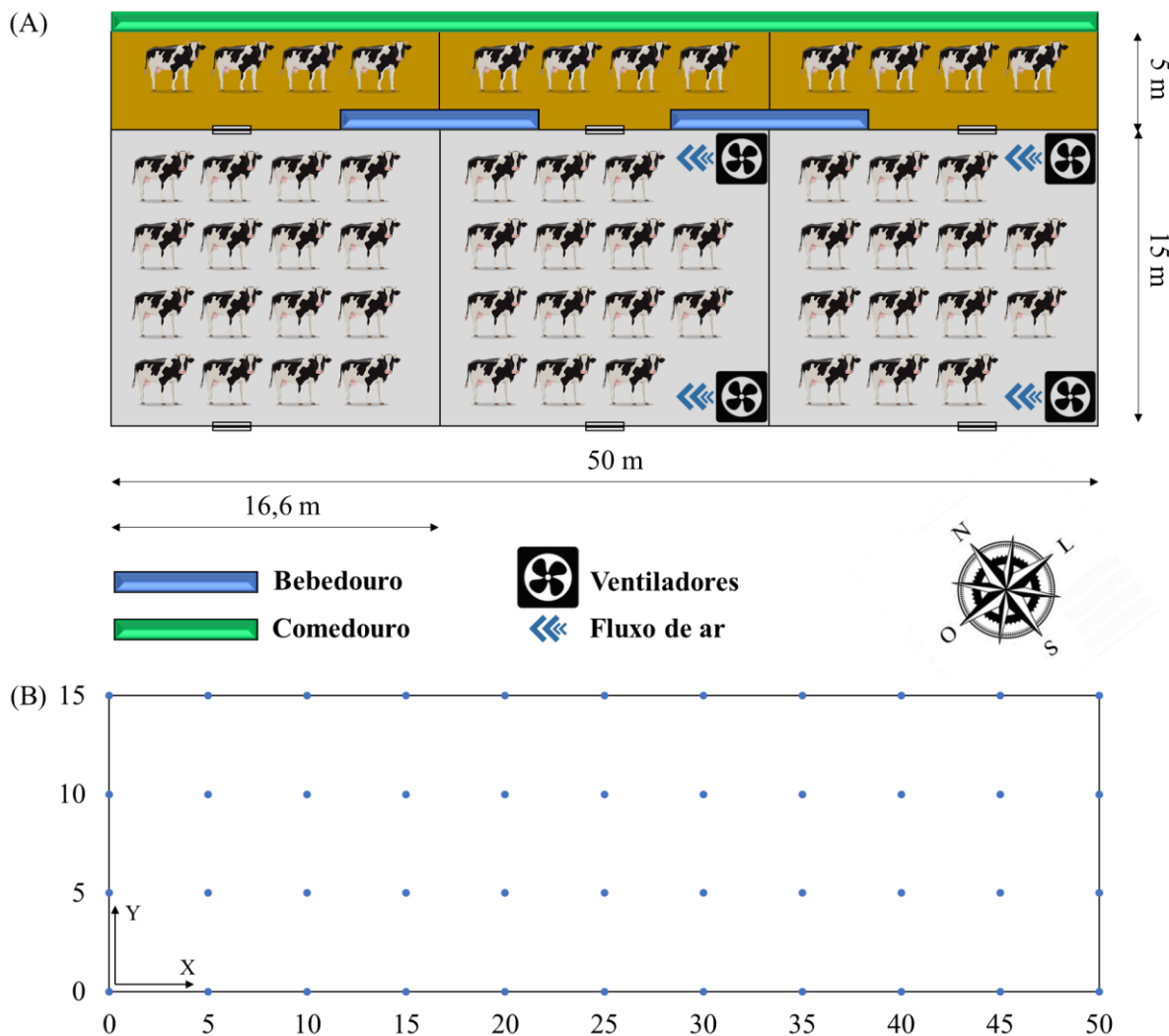
### *2.1. Área experimental e coleta de dados*

A pesquisa foi conduzida em uma unidade produtora de leite, localizada no município de Lajedo, mesorregião Agreste, Estado de Pernambuco, Brasil (latitude 8°36'54,9"S, longitude 36°18'3,2"W e altitude de 617 m) (Figura 7). De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Bsh – semiárido quente (ALVARES et al., 2013), com precipitação anual de 873 mm e temperatura média do ar de 21,9 °C ano<sup>-1</sup> (INMET, 2020). Para os meses de janeiro e fevereiro, a normal climatológica da temperatura máxima é de 29 e 28,7°C, respectivamente (INMET, 2020).



**Figura 7.** Localização da propriedade produtora de leite.

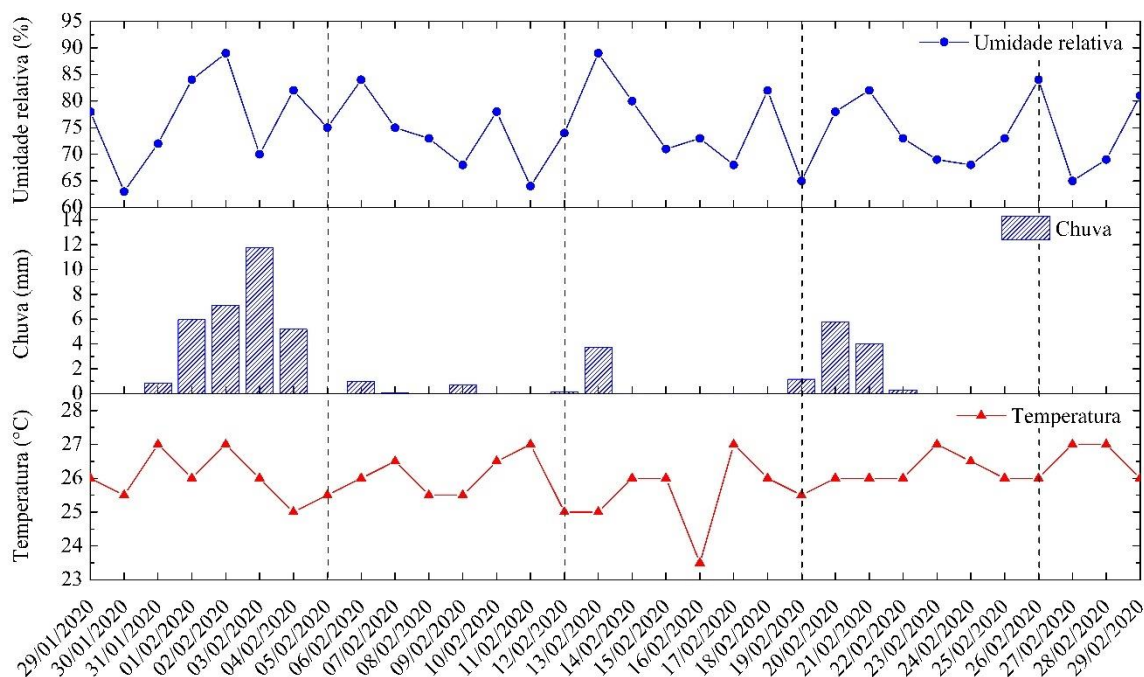
A instalação do *Compost Barn* possuía 50,0 m de comprimento, 15,0 m de largura e 4,0 m de pé-direito, com orientação NO-SE (Figura 8A). A instalação não apresentava fechamentos laterais, com piso de terra batida, a fim de proporcionar infiltração de líquidos provenientes das excretas (fezes e urinas) dos animais. A cama do Sistema *Compost Barn* (SCB) era constituída de 100% de maravalha (resíduos de serragem da madeira), com aproximadamente 0,30 m de espessura, sendo revolvida 2 vezes ao dia, imediatamente após os animais serem conduzidos a ordenha, nos horários das 06:00 e 17:00 horas. O telhado era do tipo metálico, 2 faces  $3,0 \times 1,04$  m (com intuito de aumentar a reflectância da radiação solar). O interior da instalação contou com 4 ventiladores axiais tipo tufão (vazão total de  $30,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) (Figura 8A), com funcionamento contínuo, para o alojamento de 60 vacas da raça Holandesa.



**Figura 8.** Croqui da área de estudo de confinamento dos animais (A); representação da malha amostral (B).

Os dados foram registrados em 5 dias no verão de 2020, nas datas de 29/01/2020, 05/02/2020, 12/02/2020, 19/02/2020 e 26/02/2020. As variáveis ambientais registradas dentro da instalação foram a temperatura do ar ( $T_{ar}$ , °C) e a umidade relativa do ar (UR, %) utilizando um termohigrômetro digital com faixa de medição  $T_{ar}$  de -10 a 60 °C e 10 a 99% UR,  $T_{ar}$  resolução de 0,1 °C e 1% UR, e precisão  $T_{ar}$  de  $\pm 1$  °C e UR de  $\pm 5\%$ . A velocidade do vento ( $V_v$ ,  $m\ s^{-1}$ ) foi obtida a partir de um anemômetro de hélice medindo  $V_v$  0-30  $m\ s^{-1}$ , a precisão de medição de 95%, temperatura de operação de -10 a 45 °C e umidade de operação de até 90%. A iluminância (lux) foi determinada utilizando um luxímetro digital com capacidade de medição de 0 a 100.000 lux. Os registros das variáveis ambientais foram realizados a uma altura de 1,0 m do leito, às 9:00, 12 e 15:00 horas, em 44 pontos dentro da instalação, espaçados por uma malha de 5 × 5 m (Figura 8B).

Um levantamento meteorológico de umidade relativa, precipitação e temperatura média do ar foi obtido em uma estação meteorológica da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2020), localizada a 20 m do sistema de compostagem do galpão (Figura 9). A pesquisa foi realizada entre o período de 29/01/2020 a 29/02/2020, que compreende o período de estudo, para caracterizar a condição local estudada.



**Figura 9.** Caracterização climática do ambiente externo no período de 29/01/2020 a 29/02/2020.

Foi determinado ainda a temperatura da pele ( $T_p$ ) de três animais no turno da manhã (9:00 h) e repetidos a tarde (15:00 h), por meio de uma câmera termográfica (modelo Flir i60) com resolução de 0,01 °C, distância focal de 2,00 m e emissividade ajustada para 0,98, conforme descrito por Diniz et al. (2020). O tratamento das imagens térmicas foi realizado por meio do programa FLIR QuickReport<sup>®</sup>, com ajuste dos valores de emissividade, temperatura ambiente e umidade relativa do ar obtidas no momento do registro da imagem, padronizando as leituras em toda a superfície corporal do animal.

A temperatura da cama ( $T_c$ , °C) foi registrada por meio da câmera termográfica por infravermelho (modelo Flir i60), distância focal de 1,00 m e emissividade ajustada para 0,90 de acordo com Chen & Chen (2016). Contudo, para esse registro da temperatura da cama, removeu-se uma camada de 0,05 m para obtenção da imagem térmica da superfície da cama,

obedecendo o espaçamento de  $5 \times 5$  m, totalizando 44 imagens para cada horário (9:00, 12:00 e 15:00 h). O tratamento das imagens foi o mesmo empregado para as imagens da temperatura da pele dos animais.

Com os dados de temperatura e umidade relativa do ar, em cada ponto da instalação, foi determinado o índice de temperatura e umidade (ITU) com base na equação de Berman et al. (2016), representada pela Eq. 13.

$$\text{ITU} = [3.43 + (1.058 \cdot T) - (0.293 \cdot \text{UR}) + (0.0164 \cdot T \cdot \text{UR}) + 35.7] \quad (\text{Eq. 13})$$

em que,

T - temperatura do ar (°C);

UR - umidade relativa do ar (%).

## 2.2. Análise estatística

Os dados de variabilidade temporal foram submetidos à análise estatística descritiva, para obtenção da média, mediana e coeficiente de variação (CV), classificado como baixo quando o  $\text{CV} < 12\%$ ; médio quando estiver  $12\% < \text{CV} < 24\%$  e alto quando o  $\text{CV} > 24\%$  (WARRICK e NIELSEN, 1980), posteriormente, aplicou-se também o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov ( $p \leq 0,01$ ).

A análise de geoestatística foi realizada com base no cálculo das semivariâncias clássicas, por meio da Eq. 14, que estimou a estrutura e a dependência espacial entre os pares de observações.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \quad (\text{Eq. 14})$$

em que,

$\gamma(h)$  - semivariância experimental, obtida pelos valores amostrados  $Z(X_i)$ ,  $Z(X_i + h)$ ;

$N(h)$  - número de pares de valores medidos;

h - distância entre pares amostrais;

$Z(X_i)$  e  $Z(X_i + h)$  - valores da i-ésima observação da variável regionalizada, coletados nos pontos  $X_i$  e  $X_i + h$  ( $i = 1, \dots, n$ ), separados pelo vetor h.

A dependência espacial foi analisada por meio do ajuste do semivariograma com base na estimativa da semivariância utilizando o programa GEO-EAS® (ENGLAND et al., 1989).

Os dados foram ajustados aos modelos esférico, exponencial e gaussiano (Eqs. 15, 16 e 17), respectivamente, de acordo com Deutsch et al. (1998).

Modelo esférico:

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \cdot \left[ 1,5 \frac{h}{a} - 0,5 \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right], & \text{for } 0 \leq h \leq a \\ C_0 + C, & \text{for } h > a \end{cases} \quad (\text{Eq. 15})$$

Modelo exponencial:

$$\gamma(h) = C \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{3h}{a}\right) \right] \quad (\text{Eq. 16})$$

Modelo Gaussiano:

$$\gamma(h) = C \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{(3h)^2}{a^2}\right) \right] \quad (\text{Eq. 17})$$

em que,

$\gamma(h)$  - semivariância experimental;

C - patamar;

h - distância entre pares amostrais;

a - alcance.

Os semivariogramas ajustados foram validados pela técnica de Jack-Knifing, em que a média deve ser próxima a zero e o desvio-padrão próximo a 1 (Vauclin et al., 1983), o programa utilizado para essa análise foi o GEO-EAS<sup>®</sup> (England, Sparks & Robinson, 1989). O grau de dependência espacial (GDE) foi classificado de acordo com Cambardella et al. (1994), que sugere dependência forte (Ft) < 25%; dependência moderada (Md) entre 25 e 75%; e dependência fraca (Fc) > 75%. Para a confecção dos mapas de krigagem, foi utilizado o programa Surfer 9 (Golden Software, 2010).

Para análise de componentes principais (ACP), admitiu-se 6 variáveis preditoras, sendo temperatura do ar (T, °C), umidade relativa (UR, %), velocidade do vento (Vv, m s<sup>-1</sup>), iluminância (Lux, lux), temperatura da cama (Tc, °C) e índice de temperatura e umidade (ITU). Baseando-se nas componentes principais (CP) obteve-se a matriz de covariância para extração dos autovalores que originam os autovetores. Para identificação das variáveis que apresentaram correlação foi utilizado o critério de Kaiser, considerando os autovalores acima de 1, que geram componentes com quantidade relevante de informação contida nos dados originais (Kaiser, 1958).



Foi realizada ainda a correlação de Pearson para todas as variáveis em seus respectivos horários de registro (9:00, 12:00 e 3:00 h), buscando correlacionar com a ACP, de forma a evidenciar possíveis semelhanças nas correlações e estabelecer de forma mais segura as principais variáveis preditoras, para determinação do modelo.

Com base na Análise de Componentes Principais (ACP) e a correlação de Pearson foram determinadas as principais variáveis preditoras que têm influência no conforto térmico, de modo a estabelecer um índice que caracterize o conforto dos animais. No ajuste do modelo foi utilizada a tabela da Análise de Variância (ANOVA), adotando o p-valor inferior a 0,05, para adequação das variáveis preditoras e do modelo.

O programa utilizado para essas análises foi o R versão 3.6.1 (R Core Team, 2019).

### 3. Resultados e discussão

Constatou-se que a temperatura média do ar no turno da manhã (9h) foi menor do que no turno da tarde (12 e 15:00 h). No período da manhã a incidência de radiação solar direta é menor, devido à inclinação dos raios solares, promovendo menor temperatura do ar, associada a maior umidade relativa do ar, o que contribui para uma melhor condição de conforto para os animais (Tabela 2).

**Tabela 2.** Análise descritiva das variáveis ambientais, temperatura da cama do Sistema *Compost Barn* e índice de conforto.

Variáveis	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	<sup>7</sup> DP	<sup>8</sup> CV	<sup>9</sup> A	<sup>10</sup> C	<sup>11</sup> KS
9:00 h									
<sup>1</sup> T	24,28	24,05	23,50	25,30	0,52	2,16	0,42	-1,15	0,201**
<sup>2</sup> UR	83,79	84,00	77,60	89,50	3,70	4,41	-0,16	-1,28	0,125**
<sup>3</sup> Vv	0,83	0,91	0,01	1,88	0,53	63,07	-0,03	-1,04	0,094**
<sup>4</sup> Lux	33,43	21,00	7,00	109,00	27,35	81,80	1,15	0,37	0,217**
<sup>5</sup> Tc	28,20	28,48	24,90	32,40	1,84	6,53	0,07	-0,70	0,086**
<sup>6</sup> ITU	73,60	73,29	72,24	75,90	0,94	1,28	0,66	-0,35	0,155**
12:00 h									
<sup>1</sup> T	28,11	28,15	27,30	29,10	0,42	1,50	-0,05	0,07	0,107**
<sup>2</sup> UR	65,69	65,65	63,00	68,00	1,08	1,65	-0,05	-0,25	0,077**
<sup>3</sup> Vv	2,08	2,06	1,80	2,45	0,16	7,63	0,48	-0,42	0,116**
<sup>4</sup> Lux	52,50	31,00	13,00	172,00	42,24	80,46	1,11	0,22	0,229**

<sup>5</sup> Tc	28,08	27,98	25,60	30,90	1,34	4,77	0,24	-0,52	0,066**
<sup>6</sup> ITU	79,92	80,00	78,43	81,34	0,72	0,90	-0,19	-0,15	0,094**
15:00 h									
<sup>1</sup> T	29,96	29,70	28,40	31,30	0,85	2,83	0,21	-1,44	0,184**
<sup>2</sup> UR	61,26	61,50	57,00	66,00	3,27	5,34	0,04	-1,77	0,210**
<sup>3</sup> Vv	2,56	2,55	2,30	2,85	0,12	4,87	0,25	-0,18	0,100**
<sup>4</sup> Lux	16,48	8,00	2,00	74,00	20,09	121,96	1,71	1,78	0,320**
<sup>5</sup> Tc	29,18	29,35	25,70	32,40	1,69	5,78	-0,15	-0,72	0,066**
<sup>6</sup> ITU	82,94	82,61	80,41	84,94	1,17	1,41	0,22	-1,05	0,165**

<sup>1</sup>T: temperatura do ar (°C); <sup>2</sup>UR: umidade relativa (%); <sup>3</sup>Vv: velocidade dos ventos (m s<sup>-1</sup>); <sup>4</sup>Lux: iluminância (lux); <sup>5</sup>Tc: temperatura da cama (°C); <sup>6</sup>ITU: índice de temperatura e umidade; <sup>7</sup>DP: desvio padrão; <sup>8</sup>CV: coeficiente de variação; <sup>9</sup>A: assimetria; <sup>10</sup>C: curtose; <sup>11</sup>KS: teste de normalidade de Kolmogorov–Smirnov; \*\*Significativo (p ≤ 0,01).

O coeficiente de variação (CV) para a iluminância em todos os momentos apresentou alta variabilidade (CV > 24%), segundo os critérios estabelecidos por Warrick e Nielsen (1980). Tal variabilidade ocorreu devido à orientação da instalação (Noroeste-Sudeste), aumentando a carga térmica radiante e a incidência de luz solar no quadrante Sudoeste da instalação pela manhã e Noroeste à tarde (Figura 8A). Promovendo assim um aumento da temperatura da pele do animal, causando uma possível condição de estresse.

Quanto à velocidade do vento (Vv), o CV foi alto para o horário das 9:00 h (CV > 24%), em outros horários o CV foi baixo (CV < 12%) pois as médias dos valores de Vv no horário das 12:00 e 15:00 h foram maiores (2,08 e 2,56 m s<sup>-1</sup>, respectivamente) (Tabela 2). No entanto, a justificativa para a alta variabilidade às 9:00 h, ocorreu devido ao funcionamento contínuo dos ventiladores e a maior incidência de ventos naturais sendo no início da manhã e final da tarde, causando maior variabilidade na magnitude da velocidade do vento. No entanto, Oliveira et al. (2019) avaliaram a variabilidade espacial de variáveis ambientais em um sistema *Compost Barn* no sul de Minas Gerais e obtiveram alto CV (62,66%) para Vv na estação da primavera.

Para as variáveis temperatura do ar (T<sub>ar</sub>), umidade relativa (UR), temperatura da cama (Tc) e índice de temperatura e umidade (ITU), o CV foi baixo em todos os momentos (CV < 12%; Tabela 2). Corroborando um estudo de Mota et al. (2019), que estudaram a variabilidade espacial da temperatura do leito de uma instalação de *Compost Barn* no sul de Minas Gerais e observaram baixo CV para Tc (CV < 12%). Oliveira et al. (2019) também encontraram

resultados semelhantes ao presente estudo, obtendo CV inferior a 12% para  $T_{ar}$ , UR e ITU (1,57, 3,49 e 0,65, respectivamente). O baixo CV do  $T_c$  é justificado pela permeabilidade do ar nos espaços porosos da cama de maravalha, proporcionando uma distribuição uniforme da temperatura da cama. O fluxo de ar dentro das instalações auxilia na transferência de calor e favorece o conforto térmico, promovendo a dissipação de energia da superfície da pele dos animais (MONDACA et al., 2019).

Na Tabela 3 é apresentado a geoestatística das variáveis ambientais, índice de conforto e temperatura da cama da instalação nos horários das 9:00, 12:00 e 15:00 h. Os modelos dos semivariogramas ajustados foi o gaussiano para às 9:00 e 15:00 h e, o esférico no horário das 12:00 h, para todas as variáveis estudadas (Tabela 3).

**Tabela 3.** Modelo de semivariogramas e grau de dependência espacial (GDE) das variáveis ambientais, temperatura da cama do sistema *Compost Barn* e índice de conforto.

Variáveis	Modelo	${}^7C_0$	${}^8C_0+C$	${}^9A$	${}^{10}R^2$	${}^{11}C_0/(C_0+C)$	GDE	Jack-Knifing	
								Média	${}^{12}DP$
9:00 h									
${}^1T$	Gaussiano	0,043	0,748	49,069	0,972	5,748	Ft	0,077	1,001
${}^2UR$	Gaussiano	0,380	6,769	14,618	0,978	5,613	Ft	0,024	1,172
${}^3V_v$	Gaussiano	0,067	0,278	12,297	0,934	24,101	Ft	0,028	0,963
${}^4Lux$	Gaussiano	42,000	818,300	20,386	1,000	5,132	Ft	0,025	0,765
${}^5T_c$	Gaussiano	0,010	3,306	7,153	0,900	0,302	Ft	0,020	1,090
${}^6ITU$	Gaussiano	0,271	2,043	46,678	0,987	13,264	Ft	0,042	0,924
12:00 h									
${}^1T$	Esférico	0,018	0,187	17,031	0,919	9,839	Ft	-0,006	1,125
${}^2UR$	Esférico	0,037	1,089	8,720	0,941	3,397	Ft	0,027	0,962
${}^3V_v$	Esférico	0,001	0,017	17,480	0,945	5,882	Ft	0,001	0,970
${}^4Lux$	Esférico	1,000	1835,000	19,130	0,932	0,054	Ft	-0,015	0,923
${}^5T_c$	Esférico	0,267	2,067	7,050	0,784	12,917	Ft	0,027	0,978
${}^6ITU$	Esférico	0,015	0,353	9,680	0,965	4,249	Ft	-0,042	1,162
15:00 h									
${}^1T$	Gaussiano	0,030	1,450	34,822	0,908	2,068	Ft	-0,010	1,075
${}^2UR$	Gaussiano	0,360	10,027	29,142	0,902	3,590	Ft	0,028	1,010
${}^3V_v$	Gaussiano	0,001	0,019	12,349	0,925	7,633	Ft	0,025	0,906

<sup>4</sup> Lux	Gaussiano	25,000	496,900	31,402	0,983	5,031	Ft	0,119	1,040
<sup>5</sup> Tc	Gaussiano	0,233	3,185	10,669	0,912	7,315	Ft	-0,005	0,927
<sup>6</sup> ITU	Gaussiano	0,119	1,699	30,326	0,967	7,004	Ft	-0,006	1,074

<sup>1</sup>T: temperatura do ar (°C); <sup>2</sup>UR: umidade relativa (%); <sup>3</sup>Vv: velocidade dos ventos (m s<sup>-1</sup>); <sup>4</sup>Lux: iluminância (lux); <sup>5</sup>Tc: temperatura da cama (°C); <sup>6</sup>ITU: índice de temperatura e umidade; <sup>7</sup>C0: Efeito Pepita; <sup>8</sup>C0+C: Patamar; <sup>9</sup>A: Alcance (m); <sup>10</sup>R<sup>2</sup>: Ajuste do semivariograma; <sup>11</sup>C<sub>0</sub>/(C<sub>0</sub>+C): Razão do efeito pepita com o patamar (x100), grau de dependência espacial (%); <sup>12</sup>DP: Desvio padrão; Ft: Forte.

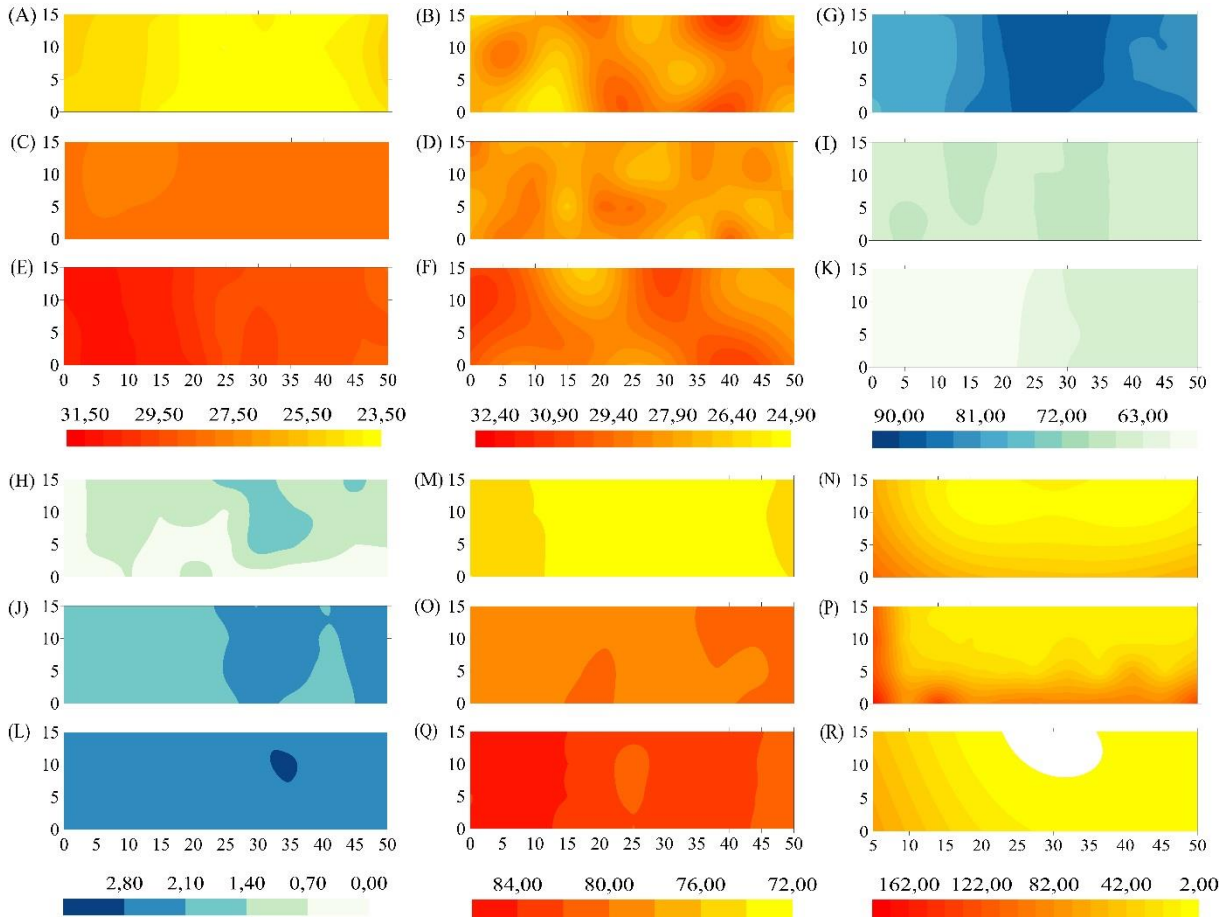
Corroborando o presente estudo, Oliveira et al. (2019) avaliaram a variabilidade espacial de elementos meteorológicas de uma instalação *Compost Barn* no Sul de Minas Gerais, no turno da tarde (de 12:00 às 16:00 h) e observaram que o modelo esférico foi o que melhor se ajustou as variáveis temperatura do ar (T), umidade relativa (UR), velocidade dos ventos (Vv) e o índice de temperatura e umidade (ITU). Resultados semelhantes foram observados por Damasceno et al. (2019), que estudaram a variabilidade espacial das variáveis micro meteorológicas em uma fazenda no Oeste do estado de Minas Gerais no turno da tarde (12:00 às 16:00 h), os autores observaram que o modelo esférico foi o que melhor se ajustou a T, UR, Vv, ITU e iluminância (lux).

Em um estudo realizado por Peixoto et al. (2019) no semiárido do estado do Ceará, em uma fazenda de bovinos de leite com sistema *Compost Barn*, os autores avaliaram a temperatura da cama nos turnos da manhã e da tarde, na estação seca e chuvosa, por meio de técnicas geoestatísticas e, observaram que para ambos os turnos e estações, o modelo esférico foi o que apresentou melhor ajuste. Contudo, como os autores estabeleceram somente dois turnos (manhã e tarde), diferiu do presente estudo, no qual, o modelo gaussiano foi o que melhor se ajustou.

Com exceção da temperatura da cama (Tc) no horário das 12:00 h (R<sup>2</sup> = 0,784), as demais variáveis, em todos os horários, apresentaram coeficiente de determinação superior a 0,90. Ainda, de acordo com o método de Jack-Knifing, estabelecido por Vauclin et al. (1983), todos os modelos gerados foram validados, com desvio padrão próximo a 1,0 e média próxima a 0 (Tabela 3). O grau de dependência espacial (GDE) foi forte para todas as variáveis em todos os horários do estudo.

Por isso, os mapas de krigagem do presente estudo (Figura 10) mostraram uma variação da temperatura do ar de 23,50 a 31,30 °C (Tabela 2; Figura 10A, 4C e 4E). Silva et al. (2012), caracterizaram a variabilidade espacial da temperatura do ar (T<sub>ar</sub>) na sala de pré-ordenação a partir de diferentes tempos de operação do sistema de resfriamento adiabático evaporativo

(SRAE) no semiárido pernambucano. Os resultados dos autores para o tempo de 0 minuto da SRAE corroboram com o horário das 15:00 h, assim como  $T_{ar}$  no tempo de 10 minutos da SRAE são semelhantes ao horário das 9:00 h do presente estudo.



**Figura 10.** Mapas de krigagem da temperatura do ar ( $T_{ar}$ , °C) nos horários de 9:00 (A), 12:00 (C) e 15:00 h (E), respectivamente; temperatura da cama ( $T_c$ , °C) nos horários de 9:00 (B), 12:00 (D) e 15:00 h (F), respectivamente; umidade relativa (UR, %) nos horários de 9:00 (G), 12:00 (I) e 15:00 h (K), respectivamente; velocidade dos ventos ( $V_v$ ,  $m\ s^{-1}$ ) nos horários de 9:00 (H), 12:00 (J) e 15:00 h (L), respectivamente; índice de temperatura e umidade (ITU) nos horários de 9:00 (M), 12:00 (O) e 15:00 h (Q), respectivamente; iluminância (Lux, lux) nos horários de 9:00 (N), 12:00 (P) e 15:00 h (R), respectivamente.

Os pontos de maior velocidade do vento ( $V_v$ ) foram os que apresentaram maior umidade relativa do ar (UR) e menor temperatura do ar (T) (Figura 10H, 10J e 10L; 10G, 10I e 10K; 10A, 10C e 10E) nos horários das 9:00, 12:00 e 15:00 h, respectivamente, já que são variáveis inversamente proporcionais. No semiárido pernambucano, Lopes et al. (2020) estudaram a variabilidade espacial das variáveis ambientais em instalação de aves de corte

submetida a circulação forçada de ar e, observaram redução da temperatura do ar na instalação. Em confinamento de vacas leiteiras, a redução da temperatura do ar por fluxo forçado favoreceu as repostas fisiológicas dos animais (MONDACA et al., 2019). Dasmaceno et al. (2019), observaram que a UR associada a Vv, tem influência direta na redução da T<sub>ar</sub> do ambiente, em que, os maiores valores de UR e Vv observada pelos autores, foram onde ocorreu os menores valores de T<sub>ar</sub>, de maneira similar aos resultados alcançados pelo presente estudo.

Dentre as observações realizadas, somente no turno da manhã, às 9:00 h, ocorreu valores do índice de temperatura e umidade (ITU), inferiores a 72, caracterizado como condição de conforto para os animais (ARMSTRONG, 1994) (Figura 10M). Contudo, o uso do sistema de ventilação forçada não foi suficiente para a manutenção do ITU ( $\leq 72$ ) às 12:00 e 15:00 h (Figura 10O e 10Q). As propriedades térmicas dos materiais e as barreiras físicas na instalação, podem alterar a trajetória do fluxo de ar, reduzindo a manutenção da temperatura interna e a eficiência de renovação do ar (MONDACA et al., 2019), o que eleva o ITU.

Dentro deste problema, uma abordagem para reduzir os valores de ITU seria adotar mais ventiladores. Damasceno et al. (2019), que estudaram a variabilidade espacial de variáveis térmicas, acústicas e iluminância em um sistema *compost barn*, no qual foram utilizados 22 ventiladores dentro da instalação, em que foram observados valores de ITU de 69, dentro da zona de conforto animal. Dito isso, a adoção de ventiladores, para o presente estudo, é uma abordagem inicial para minimizar o ITU.

Em geral, a iluminância foi baixa (<100 lux), devido ao efeito predominante da radiação difusa no interior e a orientação da instalação ser Noroeste-Sudeste, ao invés de Leste-Oeste, recomendado para edificações no Brasil. Assim, há uma incidência de mais pontos de baixa iluminância na instalação. Os maiores valores de iluminância (Lux) nos horários das 9:00, 12:00 e 15:00 h (Figura 10N, 10P e 10R) estiveram sempre associados aos maiores valores de temperatura do ar (T<sub>ar</sub>). Lopes et al. (2020), observaram que os valores da iluminância em galpão sem fechamento lateral no semiárido pernambucano, apresentaram variabilidade espacial predominante inferior a 100 lux, resultados semelhantes ao do presente estudo.

A variabilidade espacial da temperatura da cama (T<sub>c</sub>) foi baixa para todos os horários estudados, exceto para às 15:00 h, que apresentou alta variabilidade resultante da estocagem térmica nos pontos de maior exposição a incidência direta da radiação solar (Figura 10B, 10D e 10F). Peixoto et al. (2019) determinaram a temperatura da cama nos turnos da manhã e tarde, nas estações seca e chuvosa na camada de 0,00 a 0,15 m de profundidade, em uma fazenda leiteira com sistema Compost Bar no semiárido do estado do Ceará e, verificaram que no

período seco no turno da tarde a variabilidade espacial da  $T_c$  apresentaram valores acima de  $30,0\text{ }^\circ\text{C}$  ( $29,90$  a  $35,00\text{ }^\circ\text{C}$  na estação seca e  $28,80$  a  $33,30\text{ }^\circ\text{C}$  na estação chuvosa).

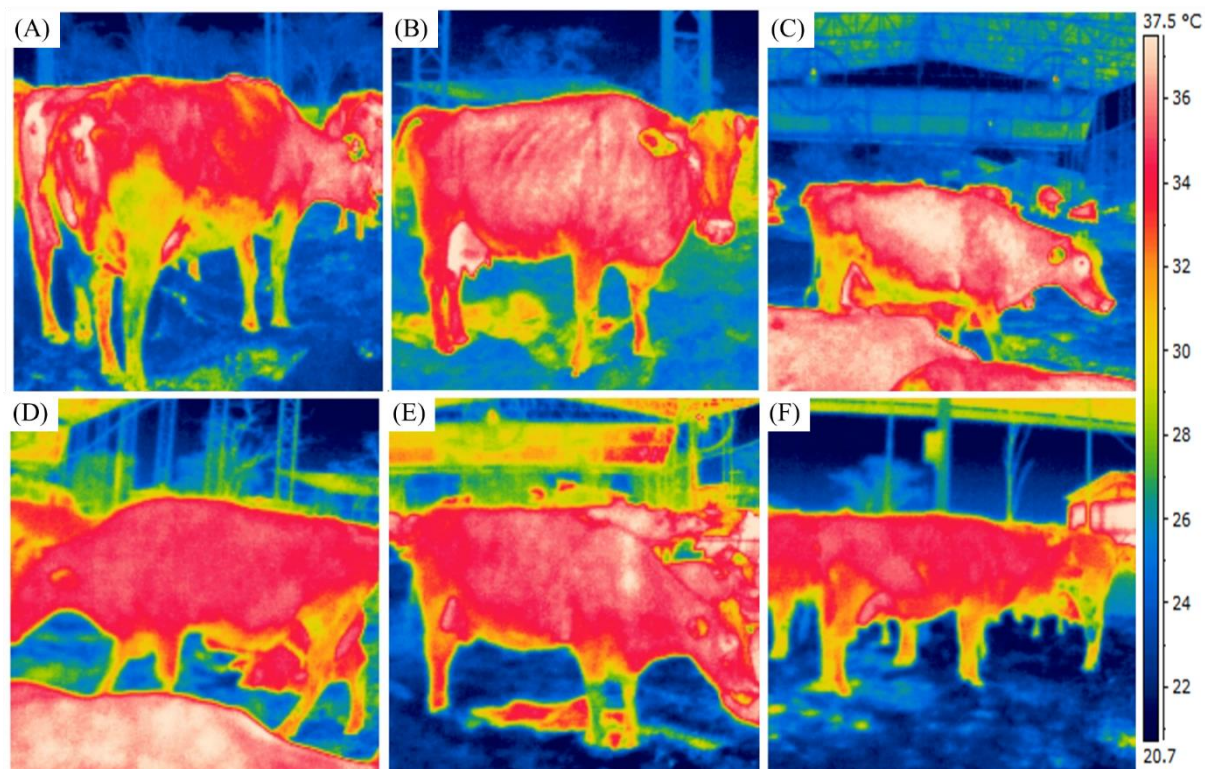
Observou-se que a temperatura do ar ( $T_{ar}$ ) teve forte relação com a temperatura da cama ( $T_c$ ), no qual, locais com maiores valores da  $T_{ar}$  foram os locais de maior  $T_c$ , isso ocorreu devido ao processo de transferência de calor por convecção do piso para o ambiente (Figura 10A, 10C e 10E; 10B, 10D e 10F) nos horários das 9:00, 12:00 e 15:00 h, respectivamente. Diante disso, torna-se necessário adoção de manejo para revolvimento da cama, bem como o monitoramento da temperatura para que não haja efeitos diretos e indiretos no conforto dos animais.

O revolvimento da cama é uma premissa fundamental, que deve ser realizada diariamente nas instalações, pois, a temperatura da cama ( $T_c$ ) tem total influência no conforto animal, já que os mesmos em processo de ruminção e ócio costumam ficar deitado, aumentando o contato com a superfície de transferência de calor. Na instalação estudada o manejo da cama foi realizado duas vezes ao dia, às 6:00 e 17:00 h, tendo um intervalo 11 horas. Contudo, Sjostrom et al. (2019), desenvolveram um estudo em uma região temperada, buscando avaliar os efeitos do sistema habitacional de inverno na higiene, saúde do úbere, queimadura por frio e ruminção de vacas leiteiras e observaram que o sistema *Compost Barn* com revolvimento da cama duas vezes ao dia, proporcionou danos a pele e, o animal ficou mais suscetível ao surgimento de mastite. No presente estudo, não foram observados danos à pele do animal durante o período estudado. Os produtores do sistema *Compost Barn* estudados, destacaram que não apresentam problemas com mastite nos animais.

Diante disso, o manejo da cama direcionado a obtenção de temperaturas mais amenas e que proporcione melhor conforto aos animais, deve ser avaliada na instalação do atual estudo, de forma que permita indicar o número mais adequado de revolvimentos da cama. Visto que, em regiões temperadas, a cama revolvendo duas vezes ao dia causava danos à pele do animal (SJOSTROM et al., 2019). Portanto, é pertinente considerar o revolvimento da cama mais de duas vezes ao dia para este estudo, uma vez que o estudo ocorre em uma região semiárida, que proporciona condições mais estressantes aos animais.

Quanto a temperatura da pele ( $T_p$ ) dos animais (Figura 11), a temperatura média, às 9:00 h foi de  $24,28\text{ }^\circ\text{C}$  e às 15:00 h de  $29,96\text{ }^\circ\text{C}$  (Tabela 2) foi registrado o maior valor da  $T_p$ , variando de  $34,00$  a  $37,50\text{ }^\circ\text{C}$  (Figura 11C e 11D), respectivamente. Por ser a área de maior interação superficial com o ambiente, esse tipo de resposta é influenciado diretamente com as condições ambientais. Resultados semelhantes foram observados por Diniz et al. (2020), em que avaliaram o emprego da termografia por infravermelho para determinação da temperatura

do pelo de vacas de leite, com valores de 37,10 e 38,60 °C, para os turnos da manhã (temperatura média de 25,00 °C) e da tarde (temperatura média de 30,50 °C), respectivamente.



**Figura 11.** Temperatura da pele ( $T_p$ ) dos animais 1, 2 e 3 referentes às 9:00 h (A, B e C, respectivamente) e 15:00 h (D, E e F, respectivamente) em sistema *Compost Barn*.

De acordo com Diniz et al. (2020), as faixas de temperatura estudadas por esses autores nos horários de 10:00, 13:00, 19:00, 22:00, 1:00 e 4:00 horas, apresentaram médias de 37,1 °C, 38,6 °C, 30,2 °C, 29,9 °C, 28,2 °C, 27,4 °C, respectivamente, caracterizadas como condição de conforto aos animais. Contudo, conforme observado na Tabela 2 e na Figura 10M, 10O e 10Q, nos horários de 12:00 e 15:00 h, os valores de índice de temperatura e umidade (ITU), foram superiores a 72, caracterizando como condição de estresse para os animais, divergindo neste ponto pelos resultados encontrados por Diniz et al. (2020), em sistemas de instalações *Compost Barn*, as variáveis como temperatura e umidade relativa do ar requerem muita atenção, pois interagem nas amplitudes térmicas da cama (BEWLEY et al., 2013; ECKELKAMP et al., 2016).

A análise de componentes principais permitiu identificar as principais correlações entre as variáveis, a fim de estabelecer um modelo que caracterize a condição de conforto dos animais na instalação com *Compost Barn* (Tabela 4). Verificou-se que a variância total foi da



ordem de 56,71 e 21,01%; 42,05 e 24,63%; 57,10 e 20,27%, para a componente principal 1 e 2 (CP1 e CP2), nos horários de 9:00, 12:00 e 15:00 h, respectivamente. A variância total acumulada nos horários das 9:00, 12:00 e 15:00 h, foi de 77,72, 66,67 e 77,37%, respectivamente.

**Tabela 4.** Principal components of meteorological variables recorded inside the installation with *Compost Barn*.

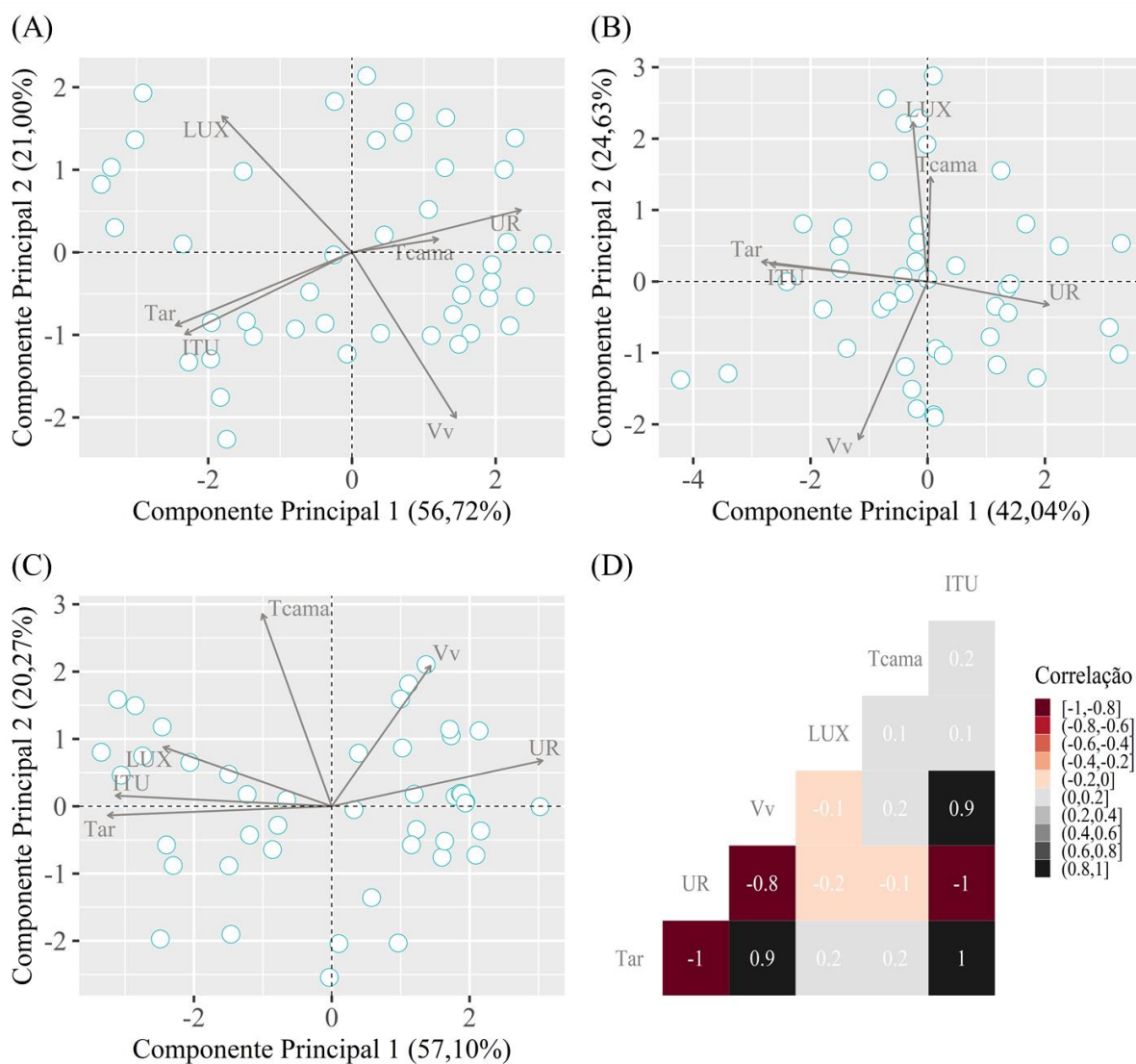
Variáveis	9:00 h		12:00 h		15:00 h	
	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2
<sup>1</sup> T	0,504	0,299	0,618	0,079	0,522	-0,037
<sup>2</sup> UR	-0,483	-0,173	-0,451	-0,093	-0,491	0,182
<sup>3</sup> Vv	-0,297	0,676	0,258	-0,631	-0,231	0,562
<sup>4</sup> Lux	0,371	-0,556	0,055	0,638	0,392	0,237
<sup>5</sup> Tc	-0,246	-0,053	-0,011	0,418	0,162	0,769
<sup>6</sup> ITU	0,477	0,335	0,587	0,070	0,503	0,042
Autovalor	3,402	1,261	2,523	1,478	3,426	1,216
Proporção (%)	<b>56,71</b>	<b>21,01</b>	<b>42,05</b>	<b>24,63</b>	<b>57,10</b>	<b>20,27</b>
Acumulado (%)	56,71	77,72	42,05	66,67	57,10	77,37

<sup>1</sup>T<sub>ar</sub>: temperatura do ar (°C); <sup>2</sup>UR: umidade relativa (%); <sup>3</sup>Vv: velocidade dos ventos (m s<sup>-1</sup>); <sup>4</sup>Lux: iluminância (lux); <sup>5</sup>Tc: temperatura da cama (°C); <sup>6</sup>ITU: índice de temperatura e umidade; CP: componente principal.

Liu et al. (2017) avaliaram as condições de estresse térmico na alteração da composição lipídica do leite de vacas e observaram variância total da ordem de 87,25% para o acumulado da CP2. Já Amamou et al. (2019) investigaram os efeitos do estresse térmico na produção e parâmetros fisiológicos de vacas da raça Holandês e obtiveram resultados da variância total de 85,72% para o acumulado da CP2. Ambos os autores corroboram os resultados da variância total acumulada da CP2 do presente estudo.

A partir das componentes 1 e 2 e da validação pelo critério de Kaiser (1958) a correlação dos elementos meteorológicos e da temperatura da cama (Tc), nos horários das 9:00, 12:00 e 15:00 h foram apresentadas na Figura 12. Observa-se correlações da umidade relativa (UR) e da velocidade do vento (Vv) inversamente proporcional a temperatura do ar (T) e ao índice de temperatura e umidade (ITU) (Tabela 4; Figura 12A e 12C). A Figura 12D representa

a correlação de Pearson para as variáveis estudadas em todos os horários (9:00, 12:00 e 15:00 h).



**Figura 12.** Análise de Componentes Principais (ACP), para as variáveis meteorológicas e temperatura da cama (TB) do sistema *Compost Barn*, nos horários de 9:00 (A), 12:00 (B) e 15:00 (C) h, correlação de Pearson das variáveis para todos os horários (D).

T<sub>ar</sub>: temperatura do ar (°C); UR: umidade relativa (%); Vv: velocidade dos ventos (m s<sup>-1</sup>); Lux: iluminância (lux); Tc: temperatura da cama (°C); ITU: índice de temperatura e umidade.

O índice de temperatura e umidade (ITU) e a temperatura do ar (T<sub>ar</sub>) são variáveis que possuem correlação positiva entre si, resultados que corroboram os achados de Amamou et al. (2019) que observaram o mesmo fenômeno avaliando condições de estresse em vacas leiteiras. Verifica-se ainda, que no horário das 12:00 h a velocidade do vento (Vv) apresentou leve

correlação positiva com o ITU e a  $T_{ar}$  (Tabela 4 e Figura 12B). A correlação de Pearson apresentou forte correlação da  $T_{ar}$  e  $V_v$  com o ITU, com correlações positivas da ordem 1 e 0,9, respectivamente.

Diante disso, procedeu-se a análise de regressão múltipla, tendo como variável resposta o ITU e as variáveis preditoras a  $T_{ar}$  e  $V_v$ . Os resultados obtidos na determinação do índice de conforto animal (ICA) foram significativos, com coeficiente de determinação de 0,9960, Eq. 18.

$$ICA = (6,3952 + 0,08964 \times T_{ar} + 0,01018 \times V_v)^2 \quad (\text{Eq. 18})$$

$$R^2 = 0,9960$$

em que,

ICA - índice de conforto animal;

$T_{ar}$  - temperatura do ar;

$V_v$  - velocidade do vento.

Valores de  $R^2$  significativos foram observados por Berman et al. (2016) e Wang et al. (2018) que propuseram índices de conforto para vacas de leite, sendo que os resultados corroboram o presente estudo. Observa-se na Tabela 5, que tanto a regressão quanto as variáveis preditoras temperatura ( $T_{ar}$ ) e velocidade do vento ( $V_v$ ), apresentaram ajuste significativo ( $p \leq 0,05$ ).

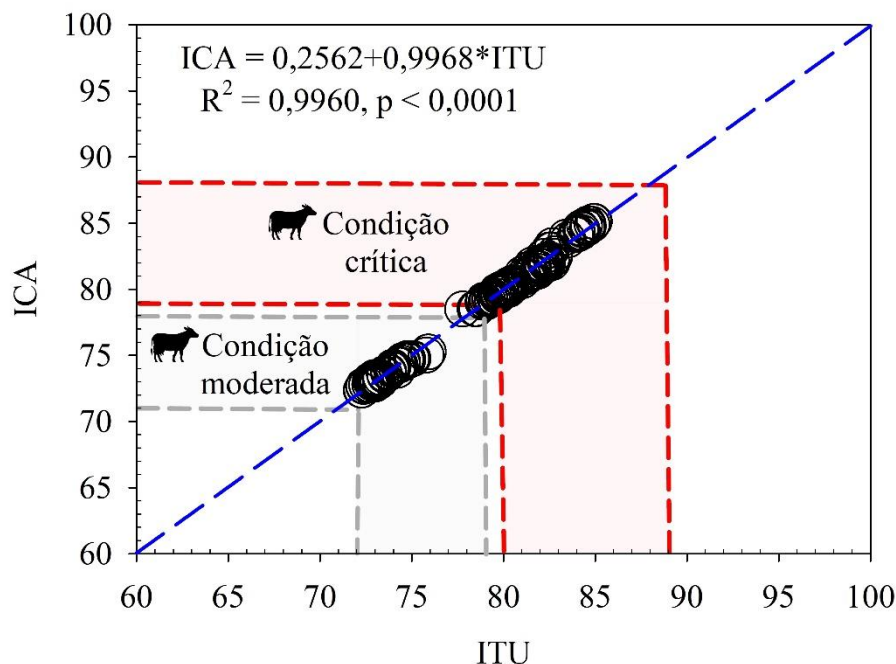
**Tabela 5.** Análise de variância do modelo de regressão estabelecido para  $p \leq 0,05$ .

Fonte	GL	SQ	QM	Valor F	Valor-P
Regressão	2	6,7597	3,3798	16182,4300	0,0000
<sup>1</sup> $T_{ar}$	1	1,5710	1,5710	7521,6700	0,0000
<sup>2</sup> $V_v$	1	0,0021	0,0021	10,2300	0,0020
Erro	129	0,0269	0,0002		
Total	131	6,7866			

<sup>1</sup> $T_{ar}$ : temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ); <sup>2</sup> $V_v$ : velocidade dos ventos ( $\text{m s}^{-1}$ ); GL: grau de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio.

A confiabilidade do modelo foi realizada por meio da análise de regressão linear, testando o modelo gerado com o estabelecido por Berman et al. (2016), os resultados foram

bastante expressivos e com elevada exatidão, como são representados na Figura 13. O ajuste do coeficiente de determinação foi de 0,996 e valor-p inferior a 0,0001, mostrando que o índice de conforto animal (ICA) pode ser empregado para sistema do tipo *Compost Barn*.



**Figura 13.** Modelo de regressão linear gerado com base no modelo estabelecido por Berman et al. (2016). Intervalos delimitados pela linha tracejada em cores cinza e vermelho representam as condições de conforto moderado e crítico, respectivamente, para os animais em sistema *Compost Barn*.

ICA – Índice de conforto animal; ITU – Índice de temperatura e umidade;  $R^2$  – Coeficiente de determinação.

De acordo com Collier et al. (2012), o índice de temperatura e umidade (ITU) é classificado da seguinte forma leve (conforto) de  $68 \leq ITU < 72$ , moderado de  $72 \leq ITU < 79$ , severo de  $80 \leq ITU < 89$  e estado de emergência  $90 \leq ITU$ . Baseando-se nesta premissa, foi estabelecido uma condição do ITU com o ICA gerado, buscando caracterizar as condições de conforto em sistema *Compost Barn*, e mediante isso, foi observado que neste tipo de sistema a condição de conforto é mais criteriosa, com uma escala a menos em todos os intervalos estabelecidos por Collier et al. (2012) (Figura 13).

Na Tabela 6 são apresentados os intervalos do ITU com base em Collier et al. (2012) e o ICA com base na observação feitas na Figura 6. Com base nas observações feitas na Figura

13, realizou-se o ajuste na condição de conforto em sistema *Compost Barn*, no qual o ICA foi classificado como leve (conforto) de  $67 \leq \text{ICA} < 71$ , moderado de  $71 \leq \text{ICA} < 78$ , severo de  $79 \leq \text{ICA} < 88$  e emergência de  $89 \leq \text{ICA}$ .

**Tabela 6.** Caracterização do índice de temperatura e umidade (ITU) e o índice de conforto animal (ICA).

Categoria	ITU	ICA
Leve	$68 \leq \text{ITU} < 72$	$67 \leq \text{ICA} < 71$
Moderado	$72 \leq \text{ITU} < 79$	$71 \leq \text{ICA} < 78$
Severo	$80 \leq \text{ITU} < 89$	$79 \leq \text{ICA} < 88$
Emergência	$90 \leq \text{ITU}$	$89 \leq \text{ICA}$

Diante disso, fica evidente que sistema *Compost Barn* apresenta condições meteorológicas mais restrita que os demais sistemas, principalmente pelas trocas de temperatura por convecção do piso para o ambiente. Dada a importância e necessidade de se estudar o sistema *Compost Barn*, conforme evidenciado nos resultados apresentados, são necessárias pesquisas adicionais para elucidar as influências das condições micrometeorológicas na produção e qualidade do leite em vacas confinadas no sistema *Compost Barn* em outros ambientes áridos e semiáridos.

#### 4. Conclusões

Os modelos de semivariograma gaussiano e esférico proporcionam caracterização eficiente da variabilidade espacial das variáveis meteorológicas e da temperatura da cama, recomendados para estudos em sistema de *Compost Barn*, em condições ambientais semelhantes.

Por meio da geoestatística e a inferência exploratória de dados é possível caracterizar as condições de conforto das vacas de leite, possibilitando identificar um processo de transferência de calor por convecção da temperatura da cama para a temperatura ambiente, no qual, havendo a necessidade do manejo da cama de mais de duas vezes ao dia. Além de, possibilitar estabelecer um índice de conforto para sistemas de produção *Compost Barn* em regiões semiáridas.

Foi possível estabelecer um índice de conforto para sistemas de produção *Compost Barn* em regiões semiáridas, dadas as condições mais estressantes neste sistema de produção.

O índice de conforto estabelecido apresenta um ajuste satisfatório, recomendado na

caracterização do conforto de vacas de leite em sistema *Compost Barn* em regiões semiáridas. É necessárias pesquisas adicionais para elucidar as influências das condições micrometeorológicas no rendimento e qualidade do leite em vacas confinadas no sistema *Compost Barn* em outros ambientes áridos e semiáridos.

## 5. Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEA) e ao Grupo de Pesquisa em Ambiência (GPESA) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e da Universidade Federal do Ceará (UFC) pelo apoio ao desenvolvimento desta pesquisa. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - Finance Code 001) para o financiamento da bolsa de pesquisa.

## 6. Referências

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- AMAMOU, H.; BECKERS, Y.; MAHOUACHI, M.; HAMMAMI, H. Thermotolerance indicators related to production and physiological responses to heat stress of holstein cows. **Journal of Thermal Biology**, v. 82, p. 90-98, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.03.016>
- APAC. **Monitoramento Agrometeorológico**. 2020. Avaliado em: <<https://www.agritempo.gov.br/agritempo/produtos.jsp?siglaUF=PE>>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2020.
- ARMSTRONG, D. Heat stress interaction with shade and cooling. **Journal of Dairy Science**, v. 77, n. 7, p. 2044-2050, 1994. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77149-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77149-6)
- BERMAN, A.; HOROVITZ, T.; KAIM, M.; GACITUA, H. A comparison of THI indices leads to a sensible heat-based heat stress index for shaded cattle that aligns temperature and humidity stress. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, n. 10, p. 1453-1462, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1136-9>
- BEWLEY, J. M.; TARABA, J. L.; MCFARLAND, D.; GARRETT, P.; GRAVES, R.; HOLMES, B.; ... WRIGHT, P. Guidelines for managing compost bedded-pack barns. **The Dairy Practices Council**, 2013.
- BRAN, J. A.; COSTA, J. H.; VON KEYSERLINGK, M. A.; HÖTZEL, M. J. Factors associated with lameness prevalence in lactating cows housed in freestall and compost-bedded pack

- dairy farms in southern Brazil. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 172, p. 104773, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.104773>
- BRETTAS, P. K. M.; MATTOS NASCIMENTO, M. R. B.; GUIMARÃES, E. C.; SOUZA, G. P. Most Appropriate Heat Stress Index for Half-blood Dairy Heifers. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 45, n. 1, p. 8, 2017. <https://doi.org/10.22456/1679-9216.80577>
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>
- CHEN, H. Y.; CHEN, C. Determining the emissivity and temperature of building materials by infrared thermometer. **Construction and Building Materials**, v. 126, p. 130-137, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.027>
- COLLIER, R.J.; HALL, L.W.; RUNGRUANG, S.; ZIMBLEMAN, R.B. Quantifying heat stress and its impact on metabolism and performance. **Department of Animal Sciences University of Arizona**, v. 68, 2012.
- COSTA, J. H.; BURNETT, T. A.; VON KEYSERLINGK, M. A.; HÖTZEL, M. J. Prevalence of lameness and leg lesions of lactating dairy cows housed in southern Brazil: Effects of housing systems. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 3, p. 2395-2405, 2018. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13462>
- DAMASCENO, F. A.; OLIVEIRA, C. E. A.; FERRAZ, G. A. S.; NASCIMENTO, J. A. C.; BARBARI, M.; FERRAZ, P. F. P. Spatial distribution of thermal variables, acoustics and lighting in compost dairy barn with climate control system. **Agronomy Research**, v. 17, n. 2, p. 385-395, 2019. <https://doi.org/10.15159/AR.19.115>
- DEUTSCH, C. V.; JOURNEL, A. G. **GSLIB: Geostatistical Software Library and Users Guide**. Second ed., Oxford University Press, New York, 369, 1998.
- DINIZ, T. A.; CARVALHO, C. C. S.; RUAS, J. R. M.; SANTOS, H. P.; MONÇÃO, F. P.; SILVA, E. A.; COSTA, M. D.; ROCHA JÚNIOR, V. R. Thermographic analysis applied to body heat production of F1 HxZ cows managed in different microclimates. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 72, n. 2, p. 545-552, 2020. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-11107>
- ECKELKAMP, E. A.; TARABA, J. L.; AKERS, K. A.; HARMON, R. J.; BEWLEY, J. M. Understanding compost bedded pack barns: Interactions among environmental factors, bedding characteristics, and udder health. **Livestock Science**, v. 190, p. 35-42, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.05.017>

- ENGLAND, E. J.; SPARKS, A.; ROBINSON, M. D. Geo—EAS (geostatistical environmental assessment software). **Environmental Software**, v. 4, n. 2, p. 70-75, 1989. [https://doi.org/10.1016/0266-9838\(89\)90033-6](https://doi.org/10.1016/0266-9838(89)90033-6)
- FÁVERO, S.; PORTILHO, F. V. R.; OLIVEIRA, A. C. R.; LANGONI, H.; PANTOJA, J. C. F. Factors associated with mastitis epidemiologic indexes, animal hygiene, and bulk milk bacterial concentrations in dairy herds housed on compost bedding. **Livestock Science**, v. 181, p. 220-230, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.09.002>
- FERNÁNDEZ, A.; MAINAU, E.; MANTECA, X.; SIURANA, A.; CASTILLEJOS, L. Impacts of compost bedded pack barns on the welfare and comfort of dairy cows. **Animals**, v. 10, n. 3, p. 431, 2020. <https://doi.org/10.3390/ani10030431>
- GOLDEN SOFTWARE. **Surfer for windows version 9.0**. Colorado: Golden, p. 66, 2010.
- INMET. **NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DO BRASIL**. 2020. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2020.
- KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v. 23, n. 3, p. 187-200, 1958. <https://doi.org/10.1007/BF02289233>
- LESO, L.; BARBARI, M.; LOPES, M. A.; DAMASCENO, F. A.; GALAMA, P.; TARABA, J. L.; KUIPERS, A. Invited review: Compost-bedded pack barns for dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 103, n. 2, p. 1072-1099, 2020. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16864>
- LIU, Z.; EZERNIEKS, V.; WANG, J.; ARACHCHILLAGE, N. W.; GARNER, J. B.; WALES, W. J.; COCKS, B. G.; ROCHFORD, S. Heat stress in dairy cattle alters lipid composition of milk. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1-10, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01120-9>
- LOBECK, K. M.; ENDRES, M. I.; SHANE, E. M.; GODDEN, S. M.; FETROW, J. Animal welfare in cross-ventilated, compost-bedded pack, and naturally ventilated dairy barns in the upper Midwest. **Journal of Dairy Science**, v. 94, n. 11, p. 5469-5479, 2011. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4363>
- LOPES, I.; SILVA, M. V.; MELO, J. M. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; PANDORFI, H. Geostatistics applied to the environmental mapping of aviaries. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 6, p. 409-414, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n6p409-414>
- MARCONDES, M. I.; MARIANO, W. H.; DE VRIES, A. Production, economic viability and risks associated with switching dairy cows from drylots to compost bedded pack systems. **Animal**, v. 14, n. 2, p. 399-408, 2020. <https://doi.org/10.1017/S1751731119001848>



- MONDACA, M. R.; CHOI, C. Y.; COOK, N. B. Understanding microenvironments within tunnel-ventilated dairy cow freestall facilities: Examination using computational fluid dynamics and experimental validation. **Biosystems Engineering**, v. 183, p. 70-84, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.04.014>
- MOTA, V. C.; ANDRADE, E. T. D.; LEITE, D. F. Bed temperature in compost barns turned with rotary hoe and offset disc harrow. **Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 3, p. 280-287, 2019. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39n3p280-287/2019>
- OLIVEIRA, C. E. A.; DAMASCENO, F. A.; FERRAZ, P. F. P.; NASCIMENTO, J. A. C.; FERRAZ, G. A. S.; BARBARI, M. Geostatistics applied to evaluation of thermal conditions and noise in compost dairy barns with different ventilation systems. **Agronomy Research**, v. 17, n. 3, p. 783-796, 2019. <https://doi.org/10.15159/AR.19.116>
- PEIXOTO, M. S. M.; BARBOSA FILHO, J. A. D.; FARIAS MACHADO, N. A.; VIANA, V. D. S. S.; COSTA, J. F. M. Thermoregulatory behavior of dairy cows submitted to bedding temperature variations in Compost barn systems. **Biological Rhythm Research**, p. 1-10, 2019. <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1616904>
- PILATTI, J. A.; VIEIRA, F. M. C.; RANKRAPE, F.; VISMARA, E. S. Diurnal behaviors and herd characteristics of dairy cows housed in a compost-bedded pack barn system under hot and humid conditions. **Animal**, v. 13, n. 2, p. 399-406, 2019. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001088>
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, 2019.
- SILVA, I. M. D.; PANDORFI, H.; DE ALMEIDA, G. L.; GUISELINI, C.; CALDAS, A. M.; JACOB, A. L. Análise espacial das condições térmicas do ambiente pré-ordenha de bovinos leiteiros sob regimes de climatização. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 8, p. 903-909, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000800013>
- SJOSTROM, L. S.; HEINS, B. J.; ENDRES, M. I.; MOON, R. D.; SORGE, U. S. Effects of winter housing system on hygiene, udder health, frostbite, and rumination of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 11, p. 10606-10615, 2019. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15759>
- VAUCLIN, M.; VIEIRA, S. R.; VACHAUD, G.; NIELSEN, D. R. The use of cokriging with limited field soil observations. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47, n. 2, p. 175-184, 1983. <https://doi.org/10.2136/sssaj1983.03615995004700020001x>

- WANG, X.; GAO, H.; GEBREMEDHIN, K. G.; BJERG, B. S.; VAN OS, J.; TUCKER, C. B.; ZHANG, G. A predictive model of equivalent temperature index for dairy cattle (ETIC). **Journal of Thermal Biology**, v. 76, p. 165-170, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.07.013>
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. *Application of soil physics.*, p. 319-344, 1980.
- WOODFORD, K.; ROBERTS, A.; MANNING, M. Dairy composting barns can improve productivity, enhance cow welfare and reduce environmental footprint: A synthesis of current knowledge and research needs. **Farm Environmental Planning—Science, Policy and Practice**. LD Currie and CL Christensen, ed. **Occasional report**, n. 31, p. 1-6, 2018.

CAPÍTULO III: Variabilidade espacial da temperatura de pelame de vacas leiteiras em um sistema *compost barn* no semiárido brasileiro

---

SILVA, M. V.; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P.; SILVA, R. A. B.; MORALES, K. R. M.; GUISELINI, C.; SANTANA, T. C.; CANGELA, G. L. C.; BARBOSA FILHO, J. A. D.; MORAES, A. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F. Spatial modeling via geostatistics and infrared thermography of the skin temperature of dairy cows in a compost barn system in the Brazilian semiarid region. **Smart Agricultural Technology**, v. 3, p. 100078, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100078>

### **Resumo**

O sistema *compost barn* destaca-se entre os sistemas de produção de confinamento de gado de leite, sendo uma alternativa viável aos sistemas convencionais desenvolvidos na produção leiteira. Objetivou-se determinar a variabilidade espacial da temperatura da pele de vacas leiteiras em instalação com sistema *compost barn*, bem como avaliar as condições de conforto térmico dos animais confinados. A temperatura da pele ( $T_{skin}$ , °C) foi registrada em três animais, às 9:00 h (manhã) e repetida a medida às 15:00 h. (tarde), por meio de uma câmera termográfica (modelo FLIR i60). Os dados da  $T_{skin}$  foram submetidos a estatística descritiva, geoestatística e posteriormente elaborado mapas de krigagem. A  $T_{skin}$  dos animais apresentou baixo coeficiente de variação em ambos os turnos de registro (manhã/tarde), com valores da ordem de 30,40 a 35,02 °C, durante o período de estudo, oscilação característica de conforto térmico dos animais. Ao comparar a média da  $T_{skin}$  às 9:00 h e às 15:00 h, para o animal 3, verificou-se redução de 0,30 °C no turno da tarde, em decorrência do posicionamento do indivíduo em relação ao sistema de ventilação forçada. O emprego da técnica de geoestatística possibilitou verificar a ocorrência de forte dependência espacial entre as temperaturas da pele de vacas criadas dentro de uma instalação com sistema *compost barn*, sendo o modelo gaussiano o que apresentou o melhor ajuste dos dados ( $R^2 > 0,90$ ), para os turnos de registro da manhã e da tarde. A caracterização da variabilidade espacial da  $T_{skin}$  de vacas leiteiras permitiu identificar as condições de conforto dos animais alojados nos sistemas *compost barn*.

**Palavras-chave:** bem-estar animal; *compost barn*; conforto térmico; geoestatística; termografia por infravermelho.

## **Abstract**

The compost barn system stands out among the confinement production systems for dairy cattle, being a viable alternative to the conventional systems developed in dairy production. The aim of the study was i) to characterize the spatial variability of the skin temperature of dairy cows in a compost system and ii) to evaluate the thermal comfort conditions of confined animals. Skin temperature ( $T_{\text{skin}}$ , °C) was recorded in three animals at 9:00 am (morning) and the measurement was repeated at 3:00 pm (afternoon) using a thermographic camera (model FLIR i60).  $T_{\text{skin}}$  data were submitted to descriptive statistics, geostatistics, and later elaborated kriging maps. The animals'  $T_{\text{skin}}$  showed a low coefficient of variation (CV) in both recording shifts (morning/afternoon), with values in the order of 30.40 to 35.02 °C during the study period, a characteristic oscillation of the animals' thermal comfort. When comparing the  $T_{\text{skin}}$  mean at 9:00 am and 3:00 pm, for animal 3, there was a reduction of 0.30 °C in the afternoon shift, as a result of the individual's position concerning the forced ventilation system. The use of the geostatistics technique made it possible to verify the occurrence of strong spatial dependence between the coat temperatures of cows raised within an installation with the compost barn system, for the morning and afternoon recording shifts. The characterization of the spatial variability of the  $T_{\text{skin}}$  of dairy cows allowed us to identify the comfort conditions of the animals housed in the compost barn systems.

**Keywords:** animal welfare; compost barn; thermal comfort; geostatistics; infrared thermography.

## 1. Introdução

Um dos desafios na produção de bovinos de leite é o manejo dos animais contra o estresse por calor (SILVA et al., 2021). As perdas de produção de leite estão associadas a alteração do bem-estar das vacas leiteiras, dessa forma, a importância de estudos que busquem reduzir o estresse por calor é fundamental para minimização de seus efeitos no desempenho dos animais (JI et al., 2020; SILVA et al., 2020; SILVA et al., 2021). A pele do animal é a principal via de troca de calor, sendo a temperatura da pele uma resposta que evidencia os processos de transferência de energia entre a pele e o núcleo corporal, por meio do fluxo sanguíneo (convecção) e da superfície do corpo para o ambiente por meios sensíveis e latente (AMAMOU et al., 2019; BATISTA et al., 2021).

Diante disso, a adequação das instalações é fundamental na produção leiteira. O tipo de sistema de produção pode afetar o comportamento do gado de leite e proporcionar um ambiente que possa garantir o conforto térmico dos animais, tanto por uma perspectiva de bem-estar, como econômica (CHAPLIN et al., 2000; SILVA et al., 2021).

O sistema *compost barn* destaca-se entre os sistemas de produção de confinamento de gado de leite, sendo uma alternativa viável aos sistemas convencionais desenvolvidos na produção leiteira (PEIXOTO et al., 2019; SILVA et al., 2020). O sistema consiste no confinamento dos animais em uma grande área comum, recoberta por cama absorvente de material macio, a base de fibras vegetais, que sob condições adequadas de temperatura e umidade sofre o processo de compostagem ao longo do tempo (BARBEG et al., 2007; SILVA et al., 2020). As principais vantagens do sistema são a melhoria no conforto e bem-estar do gado leiteiro, os ganhos em produtividade e sanidade, a redução dos custos de produção, assim como, a correta destinação dos dejetos orgânicos por meio do processo de compostagem (PEIXOTO et al., 2019; SILVA et al., 2020).

Os níveis de conforto térmico animal podem ser aferidos pela temperatura da superfície do corpo, a partir do registro de imagens térmicas, obtidas por uma câmera termográfica infravermelho. A termografia é uma técnica não invasiva e precisa para detecção da temperatura superficial de um corpo, uma vez que todos os corpos com temperatura acima do zero absoluto (0 K) emitem radiação térmica, que é convertida em valor de temperatura, pixel a pixel, na composição da imagem térmica (ROBERTO e SOUZA 2014; SALLES et al., 2016; SILVA et al., 2019a).

A interpretação destes resultados baseados em sua variabilidade espacial, torna-se possível com o uso de ferramentas geoestatísticas, a partir da modelagem de dependência espacial das variáveis, por meio de modelo de semivariogramas, que possibilitam sua

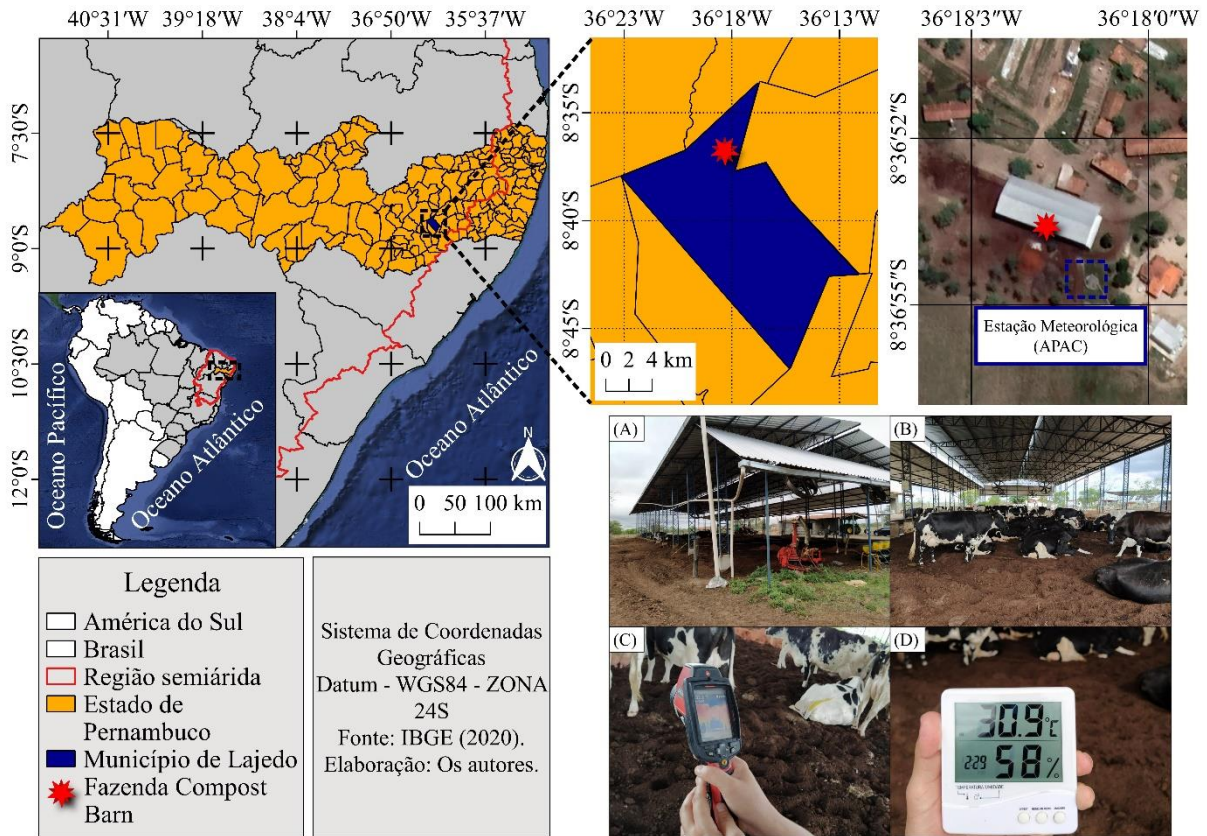
interpolação (BATISTA et al., 2021). Os mapas de variabilidade espacial de dados revelam que a análise de um único ponto de medição deve ser feita com cautela, para que um valor sub ou superestimado não seja relatado como uma condição representativa da variável em estudo (SILVA et al., 2019b; LOPES et al., 2020; SILVA et al., 2021b).

A caracterização das condições de conforto térmico de vacas de produção de leite confinadas em sistemas *compost barn* é um dos grandes desafios da pecuária de precisão e a termografia por infravermelho associada a modelagem de dados por meio da geoestatística apresentam-se como ferramentas promissoras. Nesse contexto, objetivou-se determinar a variabilidade espacial da temperatura da pele de vacas leiteiras em instalação com sistema *compost barn*, bem como avaliar as condições de conforto térmico dos animais confinados.

## **2. Material e métodos**

### *2.1. Caracterização da área de estudo*

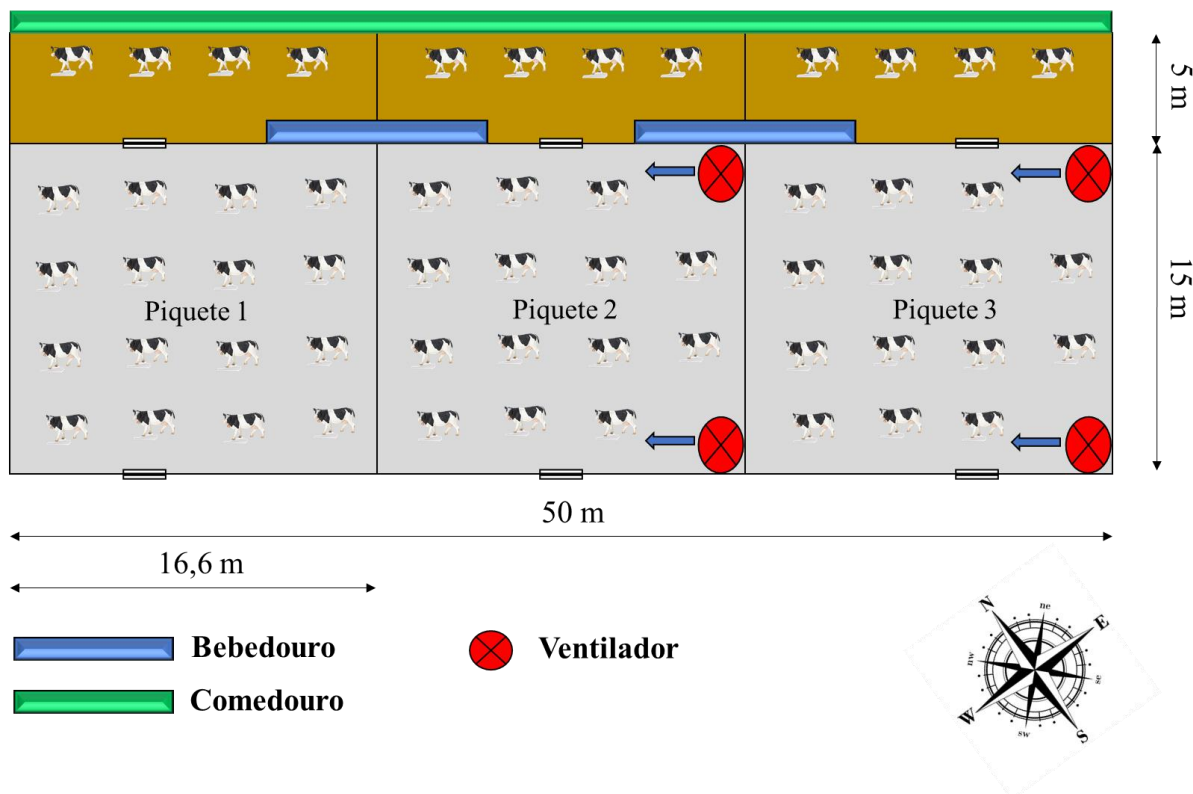
A coleta de dados foi realizada em uma propriedade rural localizada na cidade de Lajedo, região Agreste do estado de Pernambuco (latitude 8°36'54,9"S, longitude 36°18'03,2"W e altitude de 617 m). De acordo com a classificação de Köppen, o clima local é do tipo Bsh - semiárido (ALVARES et al., 2013) com precipitação anual de 873 mm e temperatura média de 21,9 °C (INMET, 2020; JARDIM et al., 2021). Para os meses de janeiro e fevereiro a temperatura média é de 29,0 e 28,7 °C, respectivamente (Figura 14). A propriedade produz bovinos de leite da raça Holandesa, sensíveis a variações climáticas acentuadas e elevadas temperaturas, que impacta negativamente no desenvolvimento, na produtividade e na fertilidade dos animais.



**Figura 14.** Localização da área de estudo, vista frontal da instalação (A); vista traseira e leito do sistema *compost barn* (B); registro das imagens termográficas (C); registro da temperatura e umidade no momento da coleta das imagens (D).

A instalação *compost barn* possui comprimento de 50,0 m, largura de 15,0 m e altura de pé direito de 4,0 m, com orientação noroeste, sem fechamento lateral e piso sem revestimento, com a finalidade de promover a infiltração de líquidos provenientes dos excrementos animais (fezes e urina) – (Figura 15). A cama, como é chamado o revestimento do piso do sistema *Compost Barn* (SCB), é composto por resíduos de podas de vegetação (por exemplo, maravalha, serragem, cascas de culturas como milho, café e outros), além de dejetos de animais que são misturados com cama (DAMASCENO et al., 2020), possuindo aproximadamente 0,30 m de espessura, sendo revolvida duas vezes ao dia, às 6:00 h e às 17:00 h, que corresponde ao horário que os animais são encaminhados a sala de ordenha.





**Figura 15.** Croqui da área de estudo de confinamento dos animais.

O telhado do galpão de confinamento é coberto com telhas metálicas, com dimensões de  $3,0 \times 1,04$  m. O interior da instalação possui 4 ventiladores axiais do tipo tufão (vazão total de  $30,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), com funcionamento contínuo, no qual, alojava 60 vacas leiteiras. A instalação é dividida em 3 piquetes, sendo cada piquete de descanso de aproximadamente  $16,6 \times 15$  m, e  $16,6 \times 5$  m para área de alimentação, conforme esquematizado na Figura 15. Cada piquete, no período deste estudo comportava 20 animais, sendo os mesmos separados com base na mesma categoria, data do parto, score corporal e produção de leite.

## 2.2. Aquisição e análise das imagens

Foram registradas imagens térmicas em três animais aleatórios no decorrer do período experimental (01/29/2020 a 02/29/2020), ao qual, os animais foram mantidos fixos no decorrer do dia de registro e repetido o processo de sorteio de um animal por divisória excluindo-se aqueles já avaliados até o final do período experimental. Dessa forma e com base nesta metodologia, foi possível cobrir todos os animais de cada piquete, minimizando o efeito da ventilação forçada em decorrência da distância dos ventiladores. Cada animal tinha um marcador auricular para identificação e manejo. O registro das imagens foi feito por meio de

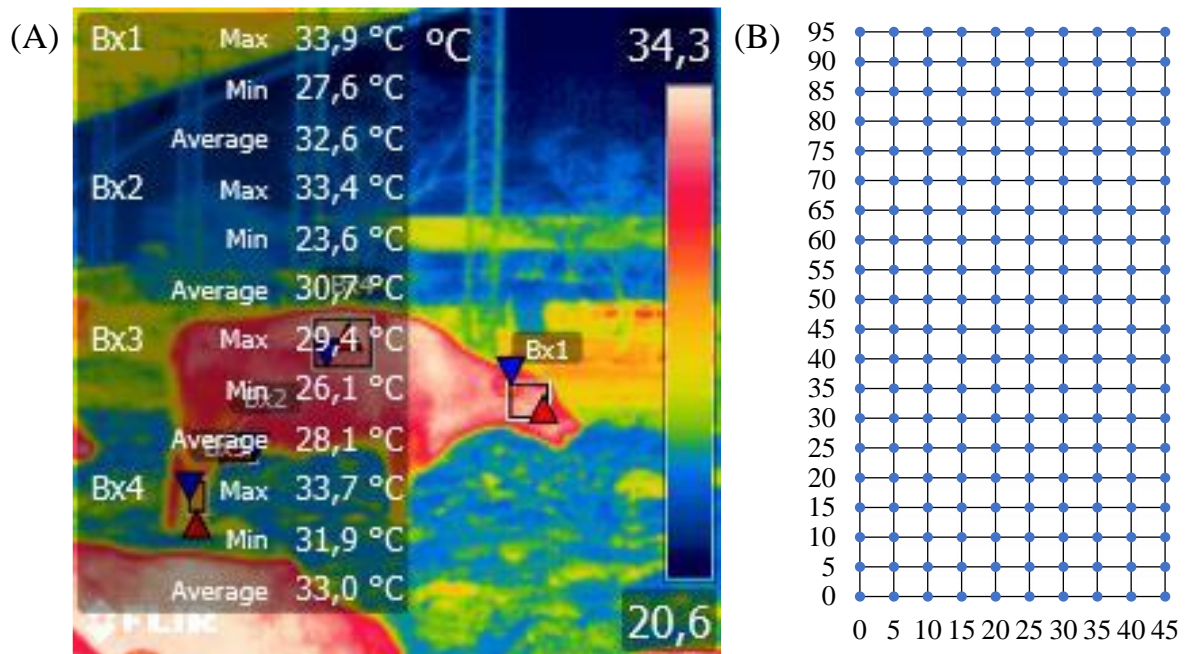
uma câmera termográfica (modelo FLIR i60), com uma resolução de 0,01 °C, distância focal de 2,0 m e emissividade ajustada para 0,98, conforme descrito por Diniz et al. (2020).

Para o registro das imagens térmicas dos animais, descartou-se os indivíduos que se localizavam nas bordas da instalação, tomando como base os fatores extrínsecos (e.g., temperatura, velocidade do vento e radiação solar incidente). Os registros foram realizados durante a permanência do animal no centro de cada piquete, havendo a necessidade em certos momentos de conduzir o animal para o centro da instalação, garantindo sua permanência nesta condição por mais de 30 min.

A seleção das imagens térmicas empregadas neste estudo, baseou-se na identificação de imagens homogêneas, registradas no decorrer do período experimental, com destaque para aquelas que apresentaram maior semelhança na variação da temperatura da pele. Para isso, foi realizada uma análise visual do banco de imagens, associado aos dias críticos (alta e/ou baixa temperatura e umidade relativa) em que essas imagens foram descartadas, porém, para dias com condições mais amenas (condições de temperatura e umidade relativa, dentro da zona de conforto do animal), foi selecionado um dia para extração de informações e análise estatística.

O pré-processamento das imagens térmicas foi realizado por meio do programa FLIR Tools, com ajuste dos valores de emissividade com base na temperatura do ambiente (T) e umidade relativa do ar (UR) aferidas no momento do registro da imagem, padronizando as leituras de temperatura da pele em todas as imagens térmicas. As variáveis meteorológicas utilizadas para o ajuste das imagens (T e UR) foram obtidas a partir de um termohigrômetro digital com faixa de medição da T de -10 a 60 °C e UR de 10 a 99%; resolução da T de 0,1 °C e UR de 1%; e exatidão da T de  $\pm 1$  °C e UR de  $\pm 5\%$ . O levantamento dos dados foi realizado entre o período de 29/01/2020 a 29/02/2020, que compreende o período do estudo, para caracterizar a condição local estudada.

Posteriormente, realizou-se a extração das matrizes referentes as bandas das imagens térmicas, totalizando 200 *pixels*, com um grid de 10 x 20 e área de 25 mm<sup>2</sup>, com espaçamento de 5 mm. Esta área levou em consideração a resolução espacial da matriz em *Dots per Inch* (DPI) que representou o número de pontos encontrados em uma polegada de uma determinada imagem (GONZALEZ e WOODS, 2010). Os pontos desta matriz foram espaçados em 5 mm, sendo obtida uma matriz de 45 x 95 mm (Figura 16).



**Figura 16.** Regiões do corpo do animal selecionadas para extração da matriz de temperatura de pelame (A); matriz amostral de 45 x 95 mm (B).

As áreas selecionadas nas imagens térmicas permitiram a extração das matrizes referentes a temperatura da cabeça ( $T_{cab}$ , °C), a temperatura da canela ( $T_{can}$ , °C), a temperatura do dorso ( $T_{dor}$ , °C) e a temperatura do úbere ( $T_{úbe}$ , °C), em que cada ponto da matriz continha um valor da respectiva temperatura de superfície. A partir dos valores extraídos foi determinada a temperatura da pele ( $T_{pel}$ , °C) do animal, de acordo com a Eq. 19 (PINHEIRO et al., 2000).

$$T_{pel} = 0,10 \times T_{cab} + 0,70 \times T_{dor} + 0,12 \times T_{can} + 0,08 \times T_{úbe} \quad (\text{Eq. 19})$$

em que,

$T_{pel}$  - temperatura da pele (°C);

$T_{cab}$  - temperatura da cabeça (°C);

$T_{dor}$  - temperatura do dorso (°C);

$T_{can}$  - temperatura da canela (°C);

$T_{úbe}$  - temperatura do úbere (°C).

### 2.3. Caracterização meteorológica da instalação compost bar

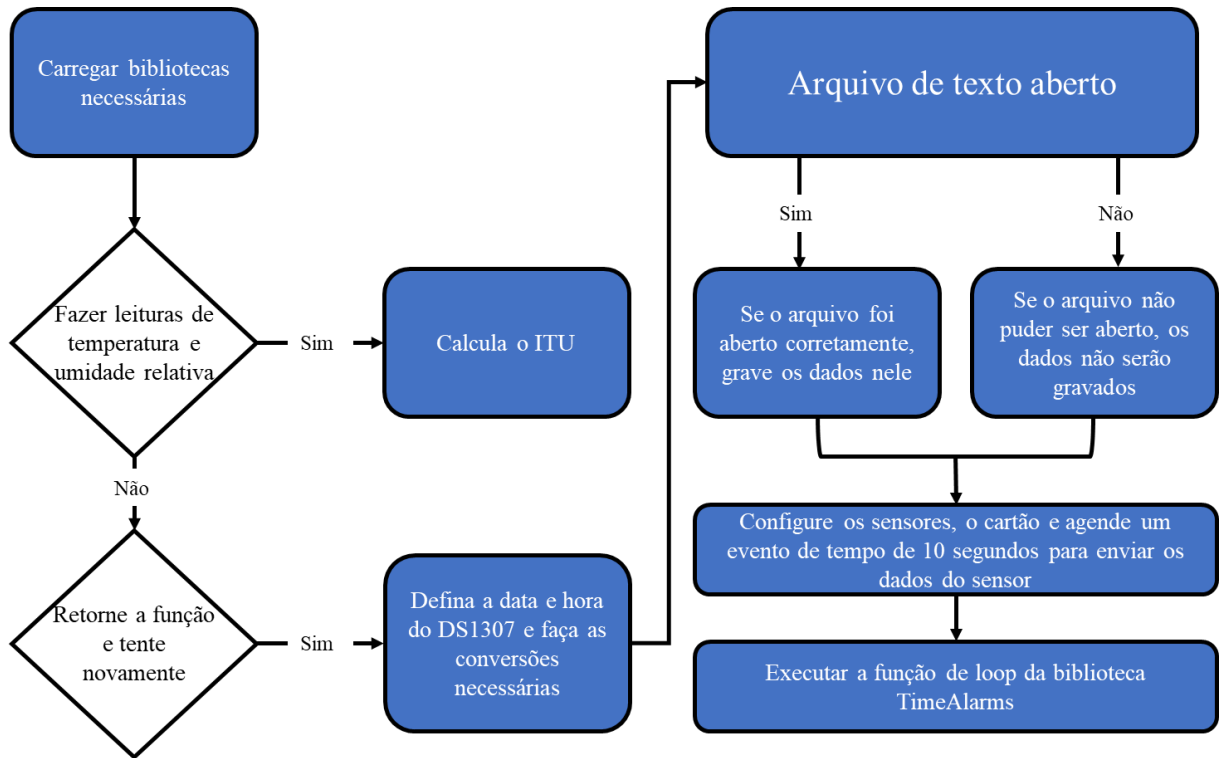
O registro da temperatura de bulbo seco ( $T_{ar}$ ), umidade relativa (UR, %) e a determinação do índice de temperatura e umidade (ITU) foi realizado por meio do equipamento AmbienteLab, protótipo desenvolvido em placa Arduino (Figura 4). O código desenvolvido

para o funcionamento do dispositivo foi em linguagem C++ na IDE ARDUINO e o API de internet das coisas Thingspeak, para visualização dos dados em tempo real. Os equipamentos foram instalados a 1,50 m do piso, no centro geométrico de cada piquete, para o registro das variáveis em intervalos de 10 segundos, das 9:00 às 15:00 h.



**Figura 17.** Aparelho AmbienceLab para registro das variáveis meteorológicas e índice de conforto térmico.

A programação permitiu estabelecer conexão Bluetooth com o dispositivo portátil e enviar as medidas meteorológicas ( $T_{ar}$  e UR) para a plataforma de Internet das coisas Thingspeak, para visualização em tempo real pela rede WiFi. O aparelho também possui a opção de envio das medidas climatológicas para o cartão de memória em locais onde não é possível conexão com rede WiFi (e.g., instalação em que foi realizado este estudo). Na Figura 18 é apresentado o fluxograma do funcionamento do sistema (aparelho + algoritmo).



**Figura 18.** Fluxograma representativo do funcionamento do AmbienteLab e da programação empregada.

A programação possibilitou a implementação do índice de temperatura e umidade (ITU) originalmente desenvolvido por Thom (1959), que combina num único valor os efeitos da temperatura e da umidade relativa do ar (SILVA et al., 2020). O estresse térmico com base no ITU foi classificado de acordo com Armstrong (1994), ao qual, variação de ITU em ameno ou brando é de 72 a 78, moderado de 79 a 88 e severo de 89 a 98. ITU abaixo de 72 caracteriza-se sem estresse térmico. O ITU empregado neste estudo, foi calculado com base na equação de Berman et al. (2016), representada pela Eq. 20.

$$ITU = [3,43 + (1,058 \times T_{ar}) - (0,293 \times UR) + (0,0164 \times T_{ar} \times UR) + 35,7] \quad (\text{Eq. 20})$$

em que,

$T_{ar}$  - temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );

UR - umidade relativa do ar (%).

#### 2.4. Análises estatísticas e geoestatísticas

A variabilidade espacial dos dados foi submetida à análise estatística descritiva, para obtenção da média, mediana, mínimo, máximo, coeficiente de variação (CV), desvio padrão (DP), assimetria e curtose. O CV foi classificado de acordo com o critério estabelecido por

Warrick e Nielsen (1980), classificado como baixo quando o CV < 12%; médio quando estiver 12% < CV < 24% e alto quando o CV > 24%. Aplicou-se também o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov ( $p \leq 0,01$ ) para verificar se os dados apresentam distribuição normal.

A análise geoestatística foi realizada com base no cálculo das semivariâncias clássicas por meio da Eq. 21, que estima a estrutura e a dependência espacial entre os pares de observações.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i+h)]^2 \quad (\text{Eq. 21})$$

em que:

$\gamma(h)$  - semivariância experimental, obtida pelos valores amostrados  $Z(x_i)$ ,  $Z(x_i+h)$ ;

$N(h)$  - número de pares de valores medidos;

$h$  - distância entre pares amostrais;

$Z(x_i)$  e  $Z(x_i+h)$  - valores da  $i$ -ésima observação da variável regionalizada, coletados nos pontos  $x_i$  e  $x_i+h$  ( $i = 1, \dots, n$ ), separados pelo vetor  $h$ .

A dependência espacial foi analisada por meio do ajuste do semivariograma com base na estimativa da semivariância utilizando o programa GEO-EAS<sup>®</sup> (ENGLAND et al., 1989). Os dados foram ajustados aos modelos esférico, exponencial e gaussiano (Eqs. 22, 23 e 24), respectivamente, de acordo com (DEUTSCH et al., 1998).

Modelo Esférico:

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \cdot \left[ 1,5 \frac{h}{a} - 0,5 \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right], & \text{for } 0 \leq h \leq a \\ C_0 + C, & \text{for } h > a \end{cases} \quad (\text{Eq. 22})$$

Modelo Exponencial:

$$\gamma(h) = C_0 + C \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{3h}{a}\right) \right] \quad (\text{Eq. 23})$$

Modelo Gaussiano:

$$\gamma(h) = C_0 + C \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{(3h)^2}{a^2}\right) \right] \quad (\text{Eq. 24})$$

em que,

$\gamma(h)$  - é o estimador da semivariância experimental;

$C_0 + C$  - é o patamar (i.e., é o efeito pepita mais a dispersão da variância, dado pelas siglas  $C_0$  e  $C$ , respectivamente);

$h$  - é a distância entre pares amostrais;

$a$  - é o alcance (m).

Os semivariogramas foram ajustados e validados pela técnica de Jack-Knifing, em que a média deve ser próxima a zero e o desvio-padrão próximo a 1 (VAUCLIN et al., 1983). O grau de dependência espacial (GDE) foi classificado de acordo com (CAMBARDELLA et al., 1994), que sugerem dependência forte (Ft) < 25%; dependência moderada (Md) entre 25 e 75%; e dependência fraca (Fc) > 75%. O método de krigagem empregado foi a krigagem ordinária, no qual, a mesma foi aplicada para caracterização da temperatura da pele dos 3 animais estudados. Para a confecção dos mapas de krigagem foi utilizado o programa Surfer 9 (GOLDEN SOFTWARE, 2010).

### 3. Resultados e discussão

A variação da umidade relativa do ar (UR, %), da chuva (mm) e da temperatura média do ar ( $T_{ar}$ , °C) foi obtido por meio de uma estação meteorológica da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2020) (Figura 14), localizada a 20 m do sistema *compost barn*, para caracterização do local de estudo (Figura 19). A UR variou de 63 a 89% ao longo do período experimental, enquanto a  $T_{ar}$  variou de 23,5 a 27 °C.

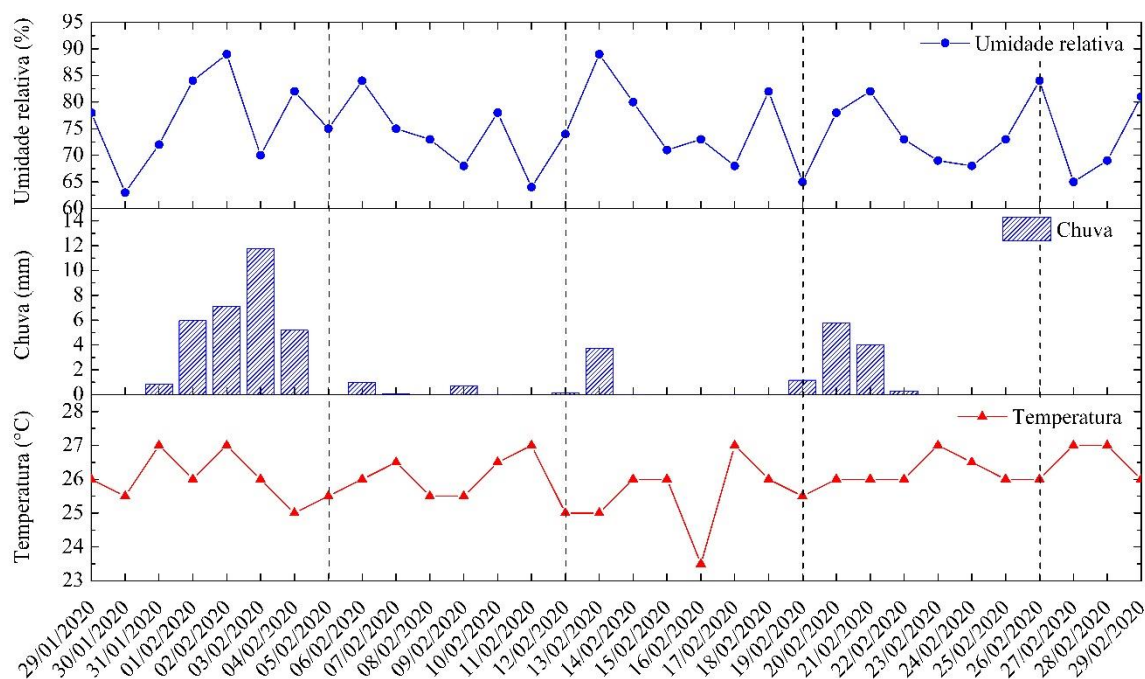
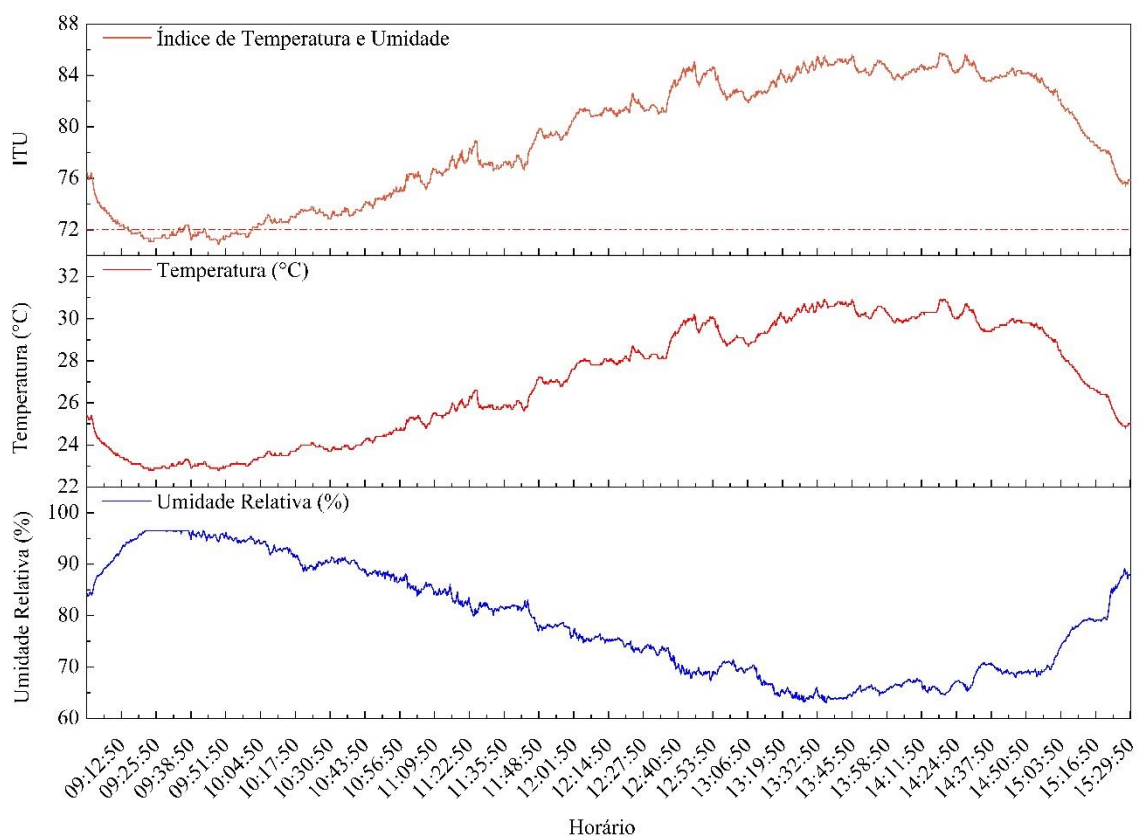


Figura 19. Caracterização meteorológica (umidade relativa, precipitação e temperatura) da

unidade de produção *Compost Barn*.

A temperatura média durante o período de estudo foi de 26,02 °C, com dias específicos chegando a valores inferior a 24°C (Figura 6). De acordo com Nääs (1989) a zona de conforto térmico (ZCT) de vacas leiteiras é de 4 a 24°C, que pode se restringir aos limites de 7 e 21°C, em razão da umidade relativa e da radiação solar. Diante disso, para o período de estudo, de uma forma generalizada, os animais estiveram fora de sua zona de conforto térmico. Corroborando, a temperatura da pele dos animais foi homogênea nos períodos de ocorrência da  $T_{ar}$  fora da ZCT.

A Figura 20 apresenta a caracterização meteorológica da instalação *compost barn* no dia de registro das imagens. De acordo com critério estabelecido por Armstrong (1994) em boa parte do dia de registro das imagens, os animais se mantiveram sob condição de estresse térmico ( $ITU > 72$ ), oscilando condições de estresse ameno ou brando (72 a 78) a moderado (79 a 88) (Figura 20). De acordo com Silva et al. (2021a), os efeitos do estresse térmico em vacas leiteiras, acarreta redução na produção de leite, assim como na redução da qualidade da produção, com um aumento da contagem de células somáticas (CCC).





**Figura 20.** Caracterização meteorológica interna a instalação *compost barn*, no período de registro das imagens térmicas.

Na Tabela 7 verifica-se distribuição assimétrica positiva e negativa da temperatura de superfície nos pontos selecionados do corpo dos animais e da temperatura de pelame, com valores máximo e mínimo de 1,30 e -1,20, respetivamente. A curtose apresentou valores na faixa de -1,20 a 2,93, tanto os valores da assimetria e curtose indicam condição de normalidade dos dados (Tabela 7). De acordo com a classificação sugerida por Warrick e Nielsen (1980), o coeficiente de variação (CV) foi baixo para a temperatura de pelame em todas as regiões do corpo selecionadas (CV < 12%). O valor máximo do coeficiente de variação (CV) foi de 9,46, correspondente a temperatura da canela do animal 2 (A2) avaliado às 9:00 h

**Tabela 7.** Estatística descritiva da temperatura da canela ( $T_{can}$ , °C), temperatura do dorso ( $T_{dor}$ , °C), temperatura da cabeça ( $T_{cab}$ , °C), temperatura do úbere ( $T_{úbe}$ , °C) e temperatura de pelame (°C) de vacas leiteiras criadas em sistema “*Compost Barn*”, nos horários das 9:00 e 15:00 h.

Variável	Média	Mediana	<sup>16</sup> Mín.	<sup>17</sup> Máx.	<sup>18</sup> DP	<sup>19</sup> CV	<sup>20</sup> A	<sup>21</sup> C	<sup>22</sup> Ks
Manhã (9:00 h)									
<sup>1</sup> T <sub>can</sub> A1	24,85	24,76	22,59	27,93	1,49	5,98	0,22	-1,20	0,140**
<sup>2</sup> T <sub>dor</sub> A1	31,41	31,46	30,36	32,08	0,40	1,27	-0,70	0,09	0,072**
<sup>3</sup> T <sub>cab</sub> A1	31,31	31,84	26,94	32,91	1,39	4,45	-1,56	1,56	0,238**
<sup>4</sup> T <sub>úbe</sub> A1	29,58	29,46	26,19	33,09	1,65	5,58	0,23	-0,93	0,096**
<sup>5</sup> T <sub>can</sub> A2	26,46	25,21	23,47	31,16	2,50	9,46	0,65	-1,14	0,194**
<sup>6</sup> T <sub>dor</sub> A2	31,80	31,89	29,86	32,74	0,57	1,78	-0,63	0,19	0,071**
<sup>7</sup> T <sub>cab</sub> A2	31,09	31,81	25,36	33,64	2,11	6,77	-0,81	-0,51	0,144**
<sup>8</sup> T <sub>úbe</sub> A2	30,87	30,83	24,69	33,37	1,35	4,39	-1,04	2,93	0,088**
<sup>9</sup> T <sub>can</sub> A3	30,79	30,55	27,65	33,43	1,27	4,14	0,34	-0,31	0,103**
<sup>10</sup> T <sub>dor</sub> A3	33,10	33,09	32,49	33,70	0,22	0,67	-0,18	0,63	0,075**
<sup>11</sup> T <sub>cab</sub> A3	33,41	33,42	32,83	33,93	0,22	0,66	-0,32	0,24	0,058**
<sup>12</sup> T <sub>úbe</sub> A3	31,60	31,54	30,84	32,86	0,31	0,98	1,30	2,80	0,108**
<sup>13</sup> T <sub>pel</sub> A1	30,40	30,46	29,06	31,24	0,50	1,66	-0,49	-0,58	0,084**
<sup>14</sup> T <sub>pel</sub> A2	30,94	31,02	28,89	32,20	0,65	2,10	-0,71	0,71	0,053**
<sup>15</sup> T <sub>pel</sub> A3	32,72	32,79	31,98	33,34	0,28	0,87	-0,58	-0,30	0,116**
Tarde (15:00 h)									

T <sub>can</sub> A1	33,84	34,04	29,28	36,28	1,44	4,25	-1,10	1,13	0,106**
T <sub>dor</sub> A1	35,36	35,34	34,97	35,74	0,14	0,39	0,12	0,10	0,065**
T <sub>cab</sub> A1	34,83	35,05	33,12	35,60	0,58	1,65	-1,05	0,24	0,169**
T <sub>úbe</sub> A1	34,86	35,35	31,72	35,98	1,02	2,92	-0,94	-0,39	0,204**
T <sub>can</sub> A2	27,67	26,70	25,12	31,42	1,94	7,01	0,67	-1,03	0,199**
T <sub>dor</sub> A2	34,76	34,76	34,13	35,36	0,25	0,71	0,12	0,06	0,058**
T <sub>cab</sub> A2	33,86	33,90	32,19	34,83	0,58	1,71	-0,62	0,10	0,073**
T <sub>úbe</sub> A2	33,60	33,17	32,05	36,04	1,09	3,23	1,01	-0,42	0,203**
T <sub>can</sub> A3	29,09	28,62	24,89	32,92	1,86	6,40	0,42	-0,30	0,136**
T <sub>dor</sub> A3	33,61	33,61	32,59	34,23	0,33	0,97	-0,56	0,32	0,051**
T <sub>cab</sub> A3	31,51	32,25	26,72	33,52	1,76	5,57	-1,13	0,11	0,207**
T <sub>úbe</sub> A3	29,64	29,59	28,18	31,89	0,84	2,84	0,74	0,11	0,087**
T <sub>pel</sub> A1	35,02	35,07	34,32	35,63	0,29	0,82	-0,70	-0,07	0,107**
T <sub>pel</sub> A2	33,72	33,64	32,80	34,75	0,42	1,24	0,20	-0,66	0,083**
T <sub>pel</sub> A3	32,42	32,33	30,96	33,68	0,55	1,68	0,12	-0,35	0,086**

<sup>1</sup>T<sub>can</sub> A1: Temperatura da canela do animal 1; <sup>2</sup>T<sub>can</sub> A2: Temperatura da canela do animal 2; <sup>3</sup>T<sub>can</sub> A3: Temperatura da canela do animal 3; <sup>4</sup>T<sub>dor</sub> A1: Temperatura do dorso do animal 1; <sup>5</sup>T<sub>dor</sub> A2: Temperatura do dorso do animal 2; <sup>6</sup>T<sub>dor</sub> A3: Temperatura do dorso do animal 3; <sup>7</sup>T<sub>cab</sub> A1: Temperatura da cabeça do animal 1; <sup>8</sup>T<sub>cab</sub> A2: Temperatura da cabeça do animal 2; <sup>9</sup>T<sub>cab</sub> A3: Temperatura da cabeça do animal 3; <sup>10</sup>T<sub>úbe</sub> A1: Temperatura do úbere do animal 1; <sup>11</sup>T<sub>úbe</sub> A2: Temperatura do úbere do animal 2; <sup>12</sup>T<sub>úbe</sub> A3: Temperatura do úbere do animal 3. <sup>13</sup>T<sub>pel</sub> A1: Temperatura de pelame do animal 1; <sup>14</sup>T<sub>pel</sub> A2: Temperatura de pelame do animal 2; <sup>15</sup>T<sub>pel</sub> A3: Temperatura de pelame do animal 3. <sup>16</sup>Mín: Mínimo. <sup>17</sup>Máx: Máximo. <sup>18</sup>DP: Desvio Padrão. <sup>19</sup>CV (%): Coeficiente de variação. <sup>20</sup>A: Assimetria. <sup>21</sup>C: Curtose. <sup>22</sup>KS: Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. \*\*0,01% de significância.

A temperatura da cabeça (T<sub>cab</sub>, °C), a temperatura da canela (T<sub>can</sub>, °C), a temperatura do dorso (T<sub>dor</sub>, °C) e a temperatura do úbere (T<sub>úbe</sub>, °C) apresentaram normalidade em ambos os horários avaliados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Destaca-se ainda, que ocorreu proximidade entre os valores da média e da mediana, o que reforça a normalidade dos dados (Tabela 7).

A temperatura da canela (T<sub>can</sub>), a temperatura do dorso (T<sub>dor</sub>), a temperatura da cabeça (T<sub>cab</sub>) e a temperatura do úbere (T<sub>úbe</sub>) dos animais do estudo, apresentaram variação de 22,59 a 36,28 °C nos horários das 9:00 e 3:00 h (Tabela 7). Corroborando os resultados apontados por

Salles et al. (2016), que determinaram a temperatura da superfície corporal de novilhas da raça Jersey por termografia infravermelha e verificaram valores médios de temperatura para a região do flanco esquerdo de 30,17 °C, flanco direito de 30,12 °C, perna dianteira esquerda de 29,33 °C e a cabeça de 28,40 °C.

A temperatura da pele ( $T_{pele}$ ) variou de 30,40 a 35,02 °C (Tabela 7) durante o período de estudo, caracterizando-se como uma condição de conforto térmico dos animais. Corroborando os achados de Diniz et al. (2020) que caracterizaram a temperatura da pele de vacas leiteiras entre 27,4 e 38,6 °C como característica de conforto aos animais. Silva et al. (2020) também caracterizaram as condições de conforto térmico de vacas leiteiras confinadas em sistema *compost barn* em região semiárida e observaram variação da  $T_{skin}$  semelhante ao estudo de Diniz et al. (2020), reforçando os achados do presente estudo.

Conforme observado na Tabela 7, a  $T_{ar}$  foi superior a ZCT dos animais em quase todo período de estudo, contudo a  $T_{pele}$  se enquadrou na faixa de conforto térmico dos animais, o que evidencia a eficiência do sistema de ventilação forçada que equipa a instalação *compost barn*, por proporcionar condições favoráveis a dissipação de energia da superfície dos animais por convecção e assim garantir o indicativo de conforto térmico pela  $T_{pele}$ . Corroborando com os achados desse estudo Silva et al. (2021), que avaliaram a eficiência do sistema de ventilação em região semiárida e destacaram sua eficiência na termorregulação e nas respostas fisiológicas dos animais.

No turno da tarde apenas o animal 1 (A1) apresentou valores de temperatura superiores a 35 °C (Tabela 7), justificado pelo fato desse animal se encontrar distante dos ventiladores, reforçado pelos resultados apontados por Peixoto et al. (2019) quanto a eficiência de sistema de ventilação em sistema *compost barn* no semiárido. Essa resposta também se evidenciou nos estudos de Radavelli et al. (2020a) e Radavelli et al. (2020b) que avaliaram a temperatura de pelame de vacas em lactação mantidas em *compost barn* na região Oeste Catarinense e encontraram valores médios da  $T_{pele}$  de 31,41 °C, máximos de 36,00 °C e mínimos de 23,50 °C.

Observou-se que a média da  $T_{pele}$  do animal 1 e do animal 2 (A1 e A2) determinada às 9:00 h, foi de 30,40 (A1) e 30,94 °C (A2), com aumento em relação à média da temperatura da pele às 15:00 h, de 4,62 e 2,78 °C, respectivamente. Já para o animal 3 (A3) verificou-se variação decrescente da temperatura da pele em 0,30 °C, quando se compara o valor da temperatura às 9:00 h (32,72 °C) e às 15:00 h (32,42 °C) (Tabela 7). Isso ocorreu devido à proximidade do animal a um dos ventiladores, o que promoveu maior dissipação de energia da superfície do corpo para o ambiente por meio sensível (convecção) e latente (evaporação), ocasionando a redução da temperatura de pelame do indivíduo, reforçando a necessidade de

redimensionamento do sistema de ventilação forçada, para garantir maior homogeneidade da climatização no interior do galpão. Corroborando com os resultados do presente estudo, Silva et al. (2020) que caracterizaram os fatores abióticos de um sistema *compost barn* em região semiárida, destacam que a atuação de ventiladores dentro da instalação, proporciona a dissipação de energia, proporcionando melhores condições para o acondicionamento térmico dos animais.

Todos os modelos de semivariograma gerados apresentaram coeficiente de determinação ( $R^2$ ) superior a 0,900, o que indica boa adequação aos modelos e de acordo com a técnica de Jack-Knifing (VAUCLIN et al., 1983), todos os modelos foram validados, apresentando médias próximas a 0 e desvio-padrão próximo a 1,0 (Tabela 8). O efeito pepita foi inferior a 1, que de acordo com Cambardella et al. (1994), indica adequação da malha amostral, ao qual, o valor máximo de efeito pepita foi de 0,290 observado para a temperatura da cabeça do animal 1 às 9:00 h

**Tabela 8.** Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para a temperatura da temperatura da canela ( $T_{can}$ , °C), temperatura do dorso ( $T_{dor}$ , °C), temperatura da cabeça ( $T_{cab}$ , °C), temperatura do úbere ( $T_{úbe}$ , °C) e temperatura de pelame ( $T_{pel}$ , °C) para os três animais, nos horários das 9:00 h e 15:00 h.

Variável	Modelo	$^1C_0$	$^2C_0+C$	$^3A$	$^4R^2$	$^5C_0/(C_0+C)$	$^6GDE$	Jack-Knifing	
								Média	$^7DP$
Manhã (9:00 h)									
$T_{can}$ A1	Gaussiano	0,020	2,697	29,444	0,932	0,741	Ft	0,032	0,985
$T_{dor}$ A1	Gaussiano	0,015	0,209	56,984	0,999	7,177	Ft	-0,057	0,980
$T_{cab}$ A1	Gaussiano	0,290	2,075	45,206	0,922	13,976	Ft	0,011	0,906
$T_{úbe}$ A1	Gaussiano	0,025	4,079	47,805	0,999	0,612	Ft	-0,093	0,973
$T_{can}$ A2	Gaussiano	0,025	7,297	31,870	0,977	0,342	Ft	-0,019	1,069
$T_{dor}$ A2	Gaussiano	0,030	0,489	69,455	0,988	6,134	Ft	-0,017	0,939
$T_{cab}$ A2	Gaussiano	0,100	3,451	32,389	0,946	2,897	Ft	-0,004	0,903
$T_{úbe}$ A2	Gaussiano	0,055	2,157	34,294	0,993	2,549	Ft	-0,063	0,964
$T_{can}$ A3	Gaussiano	0,090	1,668	23,902	0,973	5,396	Ft	0,006	0,736
$T_{dor}$ A3	Gaussiano	0,014	0,052	28,232	0,99	26,923	Md	-0,006	0,896
$T_{cab}$ A3	Gaussiano	0,021	0,056	54,213	0,975	37,500	Md	0,002	0,905
$T_{úbe}$ A3	Gaussiano	0,020	0,099	19,745	0,962	20,202	Md	0,016	1,016

T <sub>pel</sub> A1	Gaussiano	0,014	0,400	64,259	0,998	3,500	Ft	-0,016	0,978
T <sub>pel</sub> A2	Gaussiano	0,012	0,479	36,373	0,996	2,505	Ft	-0,081	0,972
T <sub>pel</sub> A3	Gaussiano	0,009	0,080	23,729	0,985	11,014	Ft	0,007	0,910
Tarde (15:00 h)									
T <sub>can</sub> A1	Gaussiano	0,070	2,881	58,197	0,994	2,429	Ft	-0,083	0,915
T <sub>dor</sub> A1	Gaussiano	0,009	0,022	42,435	0,994	44,404	Md	0,003	0,931
T <sub>cab</sub> A1	Gaussiano	0,200	0,437	64,605	0,998	45,766	Md	-0,029	0,903
T <sub>úbe</sub> A1	Gaussiano	0,009	0,533	48,341	0,997	1,688	Ft	-0,04	1,143
T <sub>can</sub> A2	Gaussiano	0,020	7,297	31,870	0,977	0,274	Ft	-0,015	1,178
T <sub>dor</sub> A2	Gaussiano	0,012	0,054	36,200	0,999	22,077	Md	0,009	0,977
T <sub>cab</sub> A2	Gaussiano	0,042	0,475	45,033	0,999	8,842	Ft	-0,014	0,810
T <sub>úbe</sub> A2	Gaussiano	0,017	1,669	45,899	1,000	1,018	Ft	0,024	1,003
T <sub>can</sub> A3	Gaussiano	0,100	4,252	51,442	0,987	2,352	Ft	-0,081	0,999
T <sub>dor</sub> A3	Gaussiano	0,020	0,267	118,819	0,977	7,491	Ft	0,012	0,969
T <sub>cab</sub> A3	Gaussiano	0,170	4,818	39,144	0,993	3,528	Ft	0,015	0,94
T <sub>úbe</sub> A3	Gaussiano	0,019	0,592	25,461	0,998	3,209	Ft	0,031	0,901
T <sub>pel</sub> A1	Gaussiano	0,007	0,143	70,148	0,997	4,609	Ft	-0,016	0,949
T <sub>pel</sub> A2	Gaussiano	0,008	0,176	41,569	1,000	4,649	Ft	0,055	0,891
T <sub>pel</sub> A3	Gaussiano	0,014	0,312	60,102	0,981	4,481	Ft	-0,042	0,961

<sup>1</sup>C<sub>0</sub>: Efeito Pepita; <sup>2</sup>C<sub>0</sub>+C: Patamar; <sup>3</sup>A: Alcance; <sup>4</sup>R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinação; <sup>5</sup>C<sub>0</sub>/(C<sub>0</sub>+C): razão do grau de dependência espacial (x100); <sup>6</sup>GDE: Grau de Dependência Espacial; <sup>7</sup>DP: Desvio Padrão.

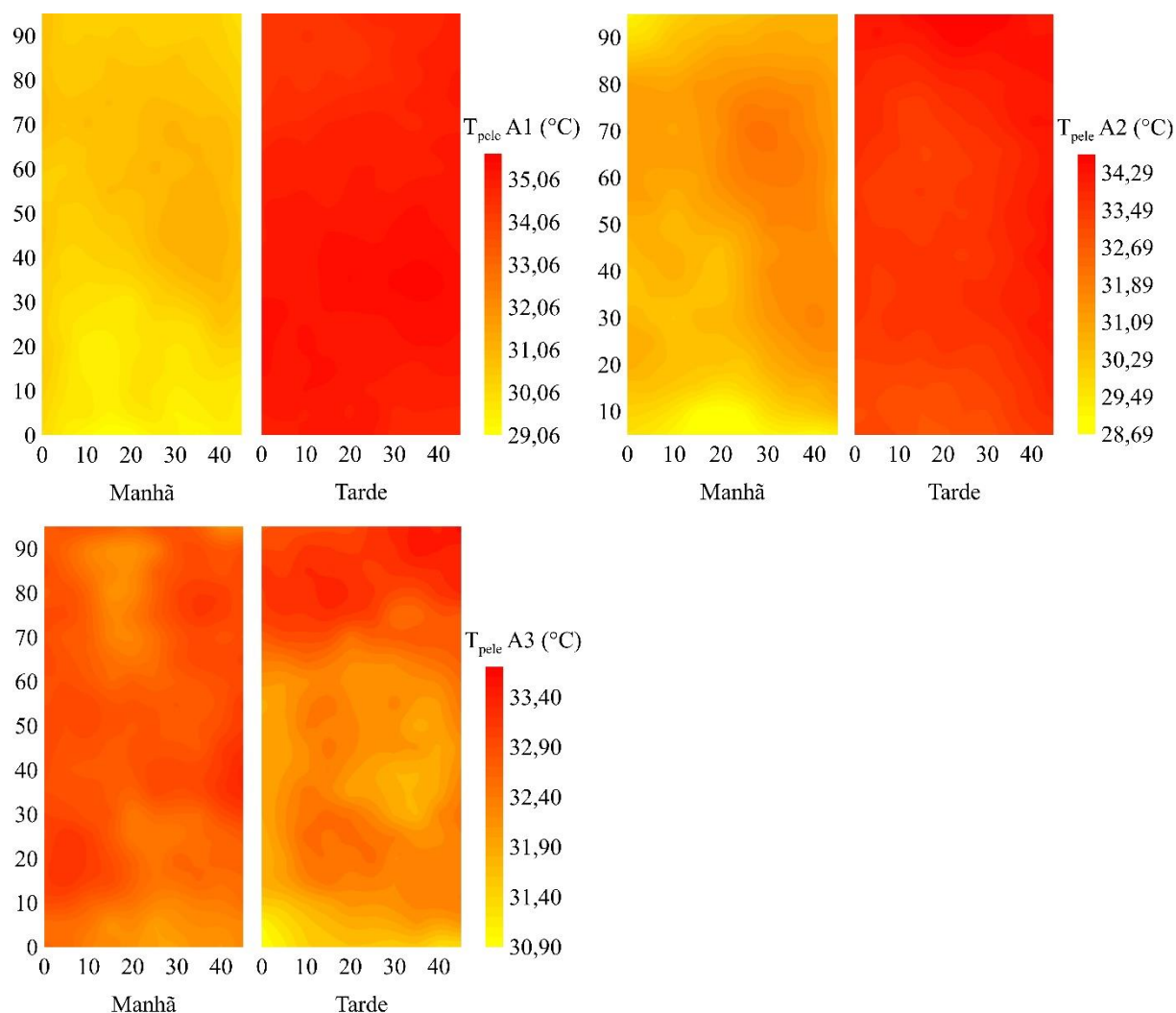
O modelo gaussiano foi o que melhor se ajustou as variáveis estudadas e apresentou grau de dependência espacial (GDE) forte (GDE < 25%) para a maioria das regiões do corpo dos animais. A temperatura de dorso (T<sub>dor</sub>), a temperatura da cabeça (T<sub>cab</sub>) e a temperatura do úbere (T<sub>úbe</sub>) do animal 3, às 9:00 h, apresentaram GDE moderada. Para o registro no turno da tarde às 15:00 h, a T<sub>dor</sub> e a T<sub>cab</sub> (animal 1) e a T<sub>dor</sub> (animal 2) também apresentaram GDE moderada (Tabela 98). A partir dos resultados da análise geoestatística (modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas) foi observada dependência espacial para todas as T<sub>pel</sub> estudadas (Tabela 8).

Um GDE alto, indica uma forte dependência entre os pontos amostrais, que reflete em maiores alcances, que está diretamente relacionado com o calor sensível do corpo dos animais. Corroborando com os achados do presente estudo, Batista et al. (2021), apontam que os maiores

alcances obtido  $T_{pe1}$  em seu estudo, se deu pela ocorrência do calor sensível em todo corpo do animal.

Conforme a classificação sugerida por Cambardella et al. (1994), analisando a relação  $C_0/(C_0 + C_1)$ , mostra-se grau de dependência espacial forte para a temperatura da pele estudada nos dois horários para todos os animais. O coeficiente de determinação  $R^2$  apresentou valores superiores a 0,981 nos modelos ajustados portanto no mínimo 98% da variabilidade encontrada foram estimadas pelos modelos. Para o alcance de dependência espacial foi observada variação de 23,729 a 70,148 mm. O alcance reflete diretamente o grau de continuidade espacial da característica avaliada, quanto maior for o alcance, mais estruturado espacialmente será a variável regionalizada (BATISTA et al., 2021; SILVA et al., 2021b).

No mapa da temperatura da pele obtidos pela interpolação por krigagem (Figura 21), pode-se observar que, para o animal 1 (A1) a distribuição da temperatura da pele em todo o corpo do animal é bastante homogênea, nota-se também o incremento da temperatura no turno da tarde (15:00 h). Já a temperatura da pele do animal 2 (A2) apresentou menor variação entre os dois horários de registro. No animal 3 (A3) a temperatura da pele apresentou-se mais homogênea e não houve variação entre os dois horários de registro. O emprego conjunto do sistema *compost barn*, associado ao sistema de ventilação forçada, promoveram condições ideais de conforto aos animais, com base nos indicativos da temperatura de pelame.



**Figura 21.** Mapas de Krigagem da temperatura da pele (°C) dos 3 animais amostrados, criados em sistema “*Compost Barn*”, no horário das 9:00 h (manhã) e 15:00 h (tarde) da matriz amostral de 45 x 95 mm.

Corroborando com os achados do presente estudo, Batista et al. (2021) que avaliaram a temperatura da pele de novilhas 7/8 Holandês-Gir em região semiárida, através de modelos de interpolação geoestatísticos e representação espacial por meio de krigagem, os autores obtiveram resultados satisfatórios na caracterização da temperatura da pele dos animais. Os autores ainda reforçam que o modelo de interpolação gaussiano é o indicado para caracterização da temperatura da pele dos animais.

A manutenção da temperatura da pele dos animais dentro de certos limites é ocasionada pela dinâmica do fluido promovido pela ventilação forçada, associada as trocas de energias da cama com o ambiente (irradiação, convecção e evaporação) e com a pele dos animais por contato. Corroborando com os resultados desse estudo, Silva et al. (2020) afirmam

que a eficiência da cama de sistema *compost barn* na termorregulação e na manutenção da pele de vacas leiteiras, ocorrem principalmente pelas trocas de energia por convecção do piso para o ambiente. Os autores ainda afirmam que as variações de temperatura da pele dos animais são dependentes das condições climáticas do ambiente, sendo influenciada pela temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento e pelas condições fisiológicas de cada animal.

A aplicação da termografia por infravermelho e da modelagem de dados via geoestatística, apresentou resultados satisfatórios e uma representação significativa da temperatura da pele dos animais como indicativo de conforto térmico, sendo preciso e não invasivo. Consolidando o método de análise reforçado por Alves et al. (2020) que apontam o emprego da termografia como uma ferramenta capaz de estimar a termorregulação corporal de bovinos e indicar seu estado de conforto térmico. Além de apresentar alta sensibilidade na detecção de alterações dos padrões térmicos dos animais, variações fisiológicas e sua interação com os elementos meteorológicos.

#### **4. Conclusões**

O modelo que melhor se ajustou a caracterização da temperatura da pele das vacas foi o modelo gaussiano, o que destaca sua recomendação para estudos da variabilidade da temperatura da pele em vacas leiteiras criadas em um sistema *compost barn* no semiárido brasileiro.

O emprego da técnica de geoestatística possibilitou verificar a ocorrência de forte dependência espacial entre as temperaturas do pelame de vacas criadas dentro de uma instalação com sistema *compost barn*, para os turnos de registro da manhã e da tarde.

A caracterização da variabilidade espacial da temperatura da pele de vacas leiteiras permitiu identificar as condições de conforto dos animais alojados nos sistemas *compost barn*.

#### **5. Agradecimentos**

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEA) e ao Grupo de Pesquisa em Ambiência (GPESA) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) pelo apoio ao desenvolvimento desta pesquisa. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - Finance Code 001) e a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pelo financiamento das bolsas. O último autor agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Produtividade em Pesquisa Nível 2, com o número 309681/2019-7.



## 6. Referências

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ALVES, F. V.; KARVATTE JUNIOR, N.; OLIVEIRA, C. C. **Aplicações da termografia por infravermelho (TIV) na bovinocultura de corte**. Embrapa Gado de Corte-Documents (INFOTECA-E), 2020.
- AMAMOU, H. et al. Thermotolerance indicators related to production and physiological responses to heat stress of Holstein cows. **Journal of Thermal Biology**, v. 82, p. 90-98, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.03.016>
- APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Monitoramento Agrometeorológico**. [online]. Disponível em: <https://www.agritempo.gov.br/agritempo/produtos.jsp?siglaUF=PE>. Acesso em 25 de fevereiro de 2020.
- ARMSTRONG, D. Heat stress interaction with shade and cooling. **Journal of Dairy Science**, v. 77, n. 7, p. 2044-2050, 1994. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77149-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77149-6)
- BARBERG, A. E. et al. Performance and welfare of dairy cows in an alternative housing system in Minnesota. **Journal of Dairy Science**, v. 90, n. 3, p. 1575-1583, 2007. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(07\)71643-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(07)71643-0)
- BATISTA, P. H. D. et al. Thermal images to predict the thermal comfort index for Girolando heifers in the Brazilian semiarid region. **Livestock Science**, v. 251, p. 104667, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104667>
- BERMAN, A. et al. A comparison of THI indices leads to a sensible heat-based heat stress index for shaded cattle that aligns temperature and humidity stress. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, n. 10, p. 1453-1462, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1136-9>
- CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society Amsterdam Journal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>
- CHAPLIN, S. J. et al. An evaluation of mattresses and mats in two dairy units. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 66, n. 4, p. 263-272, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(99\)00100-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(99)00100-8)
- DEUTSCH, C. V.; JOURNEL, A. G. **GSLIB Geostatistical Software Library and User's Guide**. 2nd ed. Oxford University Press, New York, 369, 1998.

- DINIZ, T. A. et al. Análise termográfica aplicada na produção de calor corporal de vacas F1 HxZ manejadas em diferentes microclimas. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 72, p. 545-552, 2020. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-11107>
- ENGLAND, E. J.; SPARKS, A.; ROBINSON, M. D. Geo—EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software). **Environmental Software**, v. 4, n. 2, p. 70-75, 1989. [https://doi.org/10.1016/0266-9838\(89\)90033-6](https://doi.org/10.1016/0266-9838(89)90033-6)
- GOIS, G. et al. Modelos teóricos transitivos aplicados na interpolação espacial do Standardized Precipitation Index (SPI) para os Episódios de El Niño Forte no Estado do Tocantins, Brasil. **Irriga**, v. 20, n. 2, p. 371–387, 2015. <https://doi.org/10.15809/irriga.2015v20n2p371>
- GOLDEN SOFTWARE. **Surfer for windows version 9.0**. Colorado: Golden, 2010. 66p.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E.; EDDINS, S. L. **Morphological reconstruction**. In: Digital image processing using MATLAB. MathWorks, 2010.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil**. 2020. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em 15 de janeiro de 2021.
- JARDIM, A. M. D. R. F. et al. Spatiotemporal climatic analysis in Pernambuco State, Northeast Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 223, p. 105733, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2021.105733>
- Jl, B. et al. A review of measuring, assessing and mitigating heat stress in dairy cattle. **Biosystems Engineering**, v. 199, p. 4-26, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.07.009>
- LOPES, I. et al. Geostatistics applied to the environmental mapping of aviaries. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 409-414, 2020. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n6p409-414>
- NÄÄS, I. D. A. **Princípios de conforto térmico na produção animal**. São Paulo: Ícone, 1989.
- PEIXOTO, M. S. M. et al. Thermoregulatory behavior of dairy cows submitted to bedding temperature variations in Compost barn systems. **Biological Rhythm Research**, v. 52, n. 7, p. 1120-1129, 2019. <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1616904>
- PINHEIRO, M. G. et al. Efeito do ambiente da sala de espera sobre a temperatura da pele de vacas da raça Jersey. In: **37 Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**.
- RADAVELLI, W. M. et al. Compost barns in Brazilian Subtropical region (Part 2): classification through multivariate analysis. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e480985229-e480985229, 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5229>

- RADAVELLI, W. M. et al. Compost barns in Brazilian Subtropical region (Part 1): facility, barn management and herd characteristics. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e445985198-e445985198, 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5198>
- RASHAMOL, V. P. et al. Physiological adaptability of livestock to heat stress: an updated review. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 6, n. 3, p. 62-71, 2018. <http://dx.doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v6n3p62-71>
- ROBERTO, J. V. B.; SOUZA, B. D. Utilização da termografia de infravermelho na medicina veterinária e na produção animal. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 2, n. 3, p. 73-84, 2014. <http://dx.doi.org/10.14269/2318-1265/jabb.v2n3p73-84>
- SALLES, M. S. V. et al. Mapping the body surface temperature of cattle by infrared thermography. **Journal of Thermal Biology**, v. 62, p. 63-69, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.10.003>
- SILVA, M. V. D. et al. Influence of meteorological elements on behavioral responses of gir cows and effects on milk quality. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 43, 2021. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v43i1.52604>
- SILVA, M. V. et al. Variabilidade Espacial dos Atributos Físicos do Solo em Área Cultivada com Palma Forrageira Resistente a Cochonilha do Carmim no Semiárido Nordestino. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 4, p. 39-45, 2019. [https://doi.org/10.11137/2019\\_4\\_39\\_45](https://doi.org/10.11137/2019_4_39_45)
- SILVA, M. V. et al. Spatial variability and exploratory inference of abiotic factors in barn compost confinement for cattle in the semiarid. **Journal of Thermal Biology**, v. 94, p. 102782, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102782>
- SILVA, M. V. et al. Spatial modeling of rainfall patterns and groundwater on the coast of northeastern Brazil. **Urban Climate**, v. 38, p. 100911, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100911>
- SILVA, R. Â. B. et al. Spatial Dependence of Udder Surface Temperature Variation in Dairy Cows with Healthy Status and Mastitis. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 20, 2019. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402001102019>
- THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, v. 12, n. 2, p. 57-61, 1959. <https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>
- VAUCLIN, M. et al. The use of cokriging with limited field soil observations. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47, n. 2, p. 175-184, 1983. <https://doi.org/10.2136/sssaj1983.03615995004700020001x>

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. **Spatial variability of soil physical properties in the field.** In: HILLEL, D. (Ed.). Applications of Soil Physics. New York: Academic, 1980. v. 2, p. 319-344.

CAPÍTULO IV: Modelagem da temperatura vaginal em vacas da raça Holandesa e análise de agrupamento por coeficiente de correlação cofenética

---

SILVA, M. V.; PANDORFI, H.; PEIXOTO, M. S. M.; BARBOSA FILHO, J. A. D.; ALMEIDA, G. L. P.; SILVA, I. J. O.; OLIVEIRA, K. P. L.; VIANA, V. S. S.; OLIVEIRA JUNIOR, J. F.; GUISELINI, C.; MARINHO, G. T. B.; MESQUITA, M.; SANTOS, R. C.; MACEDO, G. A. P. A.; FERREIRA, M. B.; JARDIM, A. M. R. F.; SILVA, J. L. B. Vaginal temperature modeling in Holstein cows and cluster analysis by the cophenetic correlation coefficient. **Journal of Thermal Biology (Online)**, v. 115, p. 103580 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2023.103580>

### **Resumo**

Objetivou-se estabelecer um modelo para predição e caracterização da temperatura vaginal em vacas da raça Holandesa, com base em preditores ambientais e índices de conforto térmico, por meio da análise de agrupamento, validação pelo coeficiente de correlação copenética e análise de regressão múltipla. A caracterização micrometeorológica do local foi realizada a partir do registro da temperatura do ar (Tar), da umidade relativa do ar (UR), da temperatura de globo negro (TGN), do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e da temperatura de ponto de orvalho (TPO). O registro da temperatura vaginal (Tv) foi realizado em oito vacas leiteiras por meio de sensores de temperatura, equipados com *data loggers*, acoplados a dispositivos intravaginais. Os dados foram submetidos a análise estatística descritiva e análise de agrupamento (AC), sendo o método hierárquico aglomerativo selecionado com base no valor do coeficiente de correlação copenética ( $CCC > 0,70$ ), em que se estabeleceu modelos fisiológicos representativos, que caracterizassem a Tv por meio de regressão múltipla. No turno da tarde o coeficiente de variação (CV) foi baixo para todas as variáveis, indicando homogeneidade das variáveis meteorológicas e eficiência do sistema de ventilação. O índice de temperatura e umidade (ITU) foi ameno apenas no turno da manhã. Houve a ocorrência da variação de 0,28 °C da Tv entre os turnos, suficiente para caracterização de condição de conforto e estresse do animal, sendo valores acima de 39 °C indicativos de estresse animal. A Tv apresentou forte correlação com a TGN, Tar, TPO e UR, admitindo-se que as variáveis fisiológicas, como a Tv, tendem a ter maior relação com variáveis abióticas. O emprego do coeficiente de correlação copenética (CCC) para o estabelecimento do melhor método de agrupamento, é viável. A partir das análises realizadas neste estudo, foram estabelecidos dois modelos empíricos para estimativa da Tv, sendo o modelo 1 recomendado para situações de TPO de 14,00 a 21,00 °C e UR de 30 a 100%; enquanto o modelo 2, poderá ser utilizado para situações de Tar de até 35 °C. Os modelos de regressão para estimativa da Tv são promissores na caracterização do conforto térmico de vacas de leite confinadas em sistema *compost barn*.

**Palavras-chaves:** análise de agrupamento, coeficiente de correlação cofenética, conforto térmico, métodos de ligação, modelos fisiológicos.

## **Abstract**

The objective was to establish a model for the prediction and characterization of vaginal temperature in Holstein cows, based on environmental predictors and thermal comfort indices, through cluster analysis, validation by the cophenetic correlation coefficient, and multiple regression analysis. The micrometeorological characterization of the site was carried out by recording the air temperature ( $T_{\text{air}}$ ), the relative humidity (RH), the black globe temperature (BGT), the black globe temperature and humidity (BGHI), and dew point temperature (TDP). The recording of vaginal temperature ( $T_v$ ) was performed in eight dairy cows using temperature sensors, equipped with data loggers, coupled with intravaginal devices. The data were analyzed using descriptive statistics and cluster analysis (CA) by using the hierarchical agglomerative method based on the value of the cophenetic correlation coefficient ( $\text{CCC} > 0.70$ ), in which representative physiological models were established, characterizing the  $T_v$  through multiple regression. In the afternoon the coefficient of variation (CV) was low for all variables, indicating homogeneity of the meteorological variables and efficiency of the ventilation system. The temperature and humidity index (THI) was mild only on the morning. There was a variation of  $0.28\text{ }^{\circ}\text{C}$  of  $T_v$  between shifts, sufficient to characterize the condition of comfort and stress of the animal, with values above  $39\text{ }^{\circ}\text{C}$  indicating animal stress.  $T_v$  showed strong correlation with BGT,  $T_{\text{air}}$ , TDP and RH, assuming that physiological variables, such as  $T_v$ , tend to have greater relationship with abiotic variables. Empirical models were established for estimating  $T_v$  based on the analyses performed in this study. Model 1 is recommended for TDP ranges of  $14.00$  to  $21.00\text{ }^{\circ}\text{C}$  and RH of 30 to 100%, while model 2 can be used for  $T_{\text{air}}$  situations up to  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ . The regression models for estimating  $T_v$  are promising for characterizing the thermal comfort of dairy cows housed in compost barn systems.

**Keywords:** thermal comfort, binding methods, physiological models.



## 1. Introdução

O clima tropical é predominante no território brasileiro, caracterizado por temperaturas elevadas (médias acima de 20 °C). Um dos desafios na produção de bovinos de leite no Brasil, é o manejo dos animais diante do desafio imposto pelo clima do local (SILVA et al., 2021a), principalmente nas regiões tropicais próximas a linha do equador, em que as perdas de produção de leite estão associadas a dificuldade de manter a homeostase (BARRETO et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2022; PERETTI et al., 2022). Frente a esse cenário, a importância de estudos que busquem reduzir o estresse por calor é fundamental para minimização de seus efeitos no desempenho dos animais e na manutenção do lucro dos produtores (JI et al., 2020a; SILVA et al., 2020; SILVA et al., 2021a).

A pele do animal é a principal via de troca de calor, sendo a temperatura vaginal e a retal, as principais vias de resposta às condições térmicas locais, podendo caracterizar as condições de conforto e estresse (LEE et al., 2015; PENG et al., 2019; WANG et al., 2020). A elevação da temperatura vaginal ( $T_v$ ) ocorre quando os animais são expostos a alta disponibilidade de radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar (TRESOLDI et al., 2020). Nessas condições, ocorre alteração da homeotermia, com efeito direto nas respostas fisiológicas, comportamentais e produtivas do rebanho (JEELANI et al., 2019). Dentre as respostas fisiológicas, a temperatura vaginal e a retal são consideradas importantes indicadores de estresse térmico de vacas de leite (HICKS et al. 2001; REID et al., 2012; CHUNG et al. 2020).

No entanto, as medições da temperatura vaginal e retal possuem algumas limitações, a destacar o tempo despendido na intervenção, por requerer o contato direto com os animais e ainda causar estresse por meio de técnicas invasivas, como a contenção e a aplicação rotineira de termômetros, que possibilitam a obtenção dos valores de temperatura apenas de forma pontual (JI et al., 2020b). Diante desta problemática, surgem equipamentos que permitem medir a temperatura interna dos animais, pela inserção de dispositivos eletrônicos nas mucosas retal e/ou vaginal, sem contato direto com os animais e transferência dos dados de registro por telemetria de forma ininterrupta (biotelemetria) (TRESOLDI et al., 2020; WANG et al., 2020).

Conforme mencionado, o registro da temperatura vaginal e retal de vacas de leite é uma forma eficaz e precisa para caracterização das condições de estresse térmico animal, por se tratar de medidas que mais se aproximam da temperatura de núcleo corporal. Todavia, a utilização de um modelo empírico dirigido a predição da temperatura vaginal, como aquela que mais se aproxima a temperatura de núcleo de vacas de leite, a partir de variáveis ambientais, ainda não é bem difundido na literatura contemporânea.

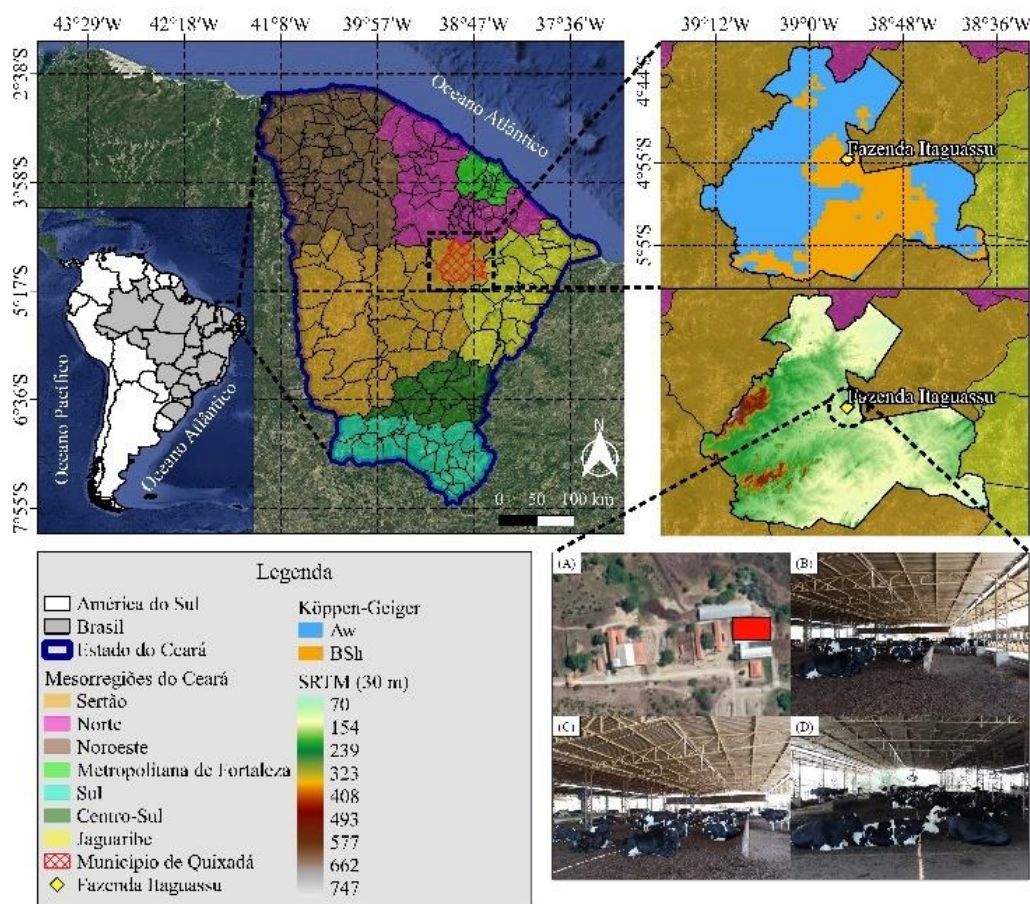
Métodos empíricos empregados na caracterização do conforto térmico dos animais, vem sendo difundidos na comunidade científica e explorados no campo da produção animal (GEBREMEDHIN et al., 2016; BORGES et al., 2018; RIBEIRO et al., 2020; SARNIGHAUSEN, 2020; YAN et al., 2021; FOROUSHANI e AMON, 2022). Quanto a caracterização fisiológica da temperatura da pele de vacas, existem modelos que tem apresentado resultados promissores na caracterização do conforto térmico dos animais (BATISTA et al., 2021; SILVA et al., 2023). Assim como a modelagem de índices de conforto térmico para instalação *compost barn*, conforme observado por Silva et al. (2020), tem caracterizado com eficiência as condições térmicas destas instalações. Todavia, modelos que busque caracterizar a temperatura de núcleo dos animais ou próxima a ela, ainda é um dos grandes desafios da ambiência animal na caracterização térmica dos animais, destacando a carência de estudos neste campo.

Nesse contexto, objetivou-se estabelecer modelos para predição e caracterização da temperatura vaginal em vacas da raça Holandesa, com base em preditores ambientais e índices de conforto térmico, por meio da análise de agrupamento, validação pelo coeficiente de correlação cofenética e análise de regressão múltipla.

## **2. Material e métodos**

### *2.1. Caracterização da área de estudo*

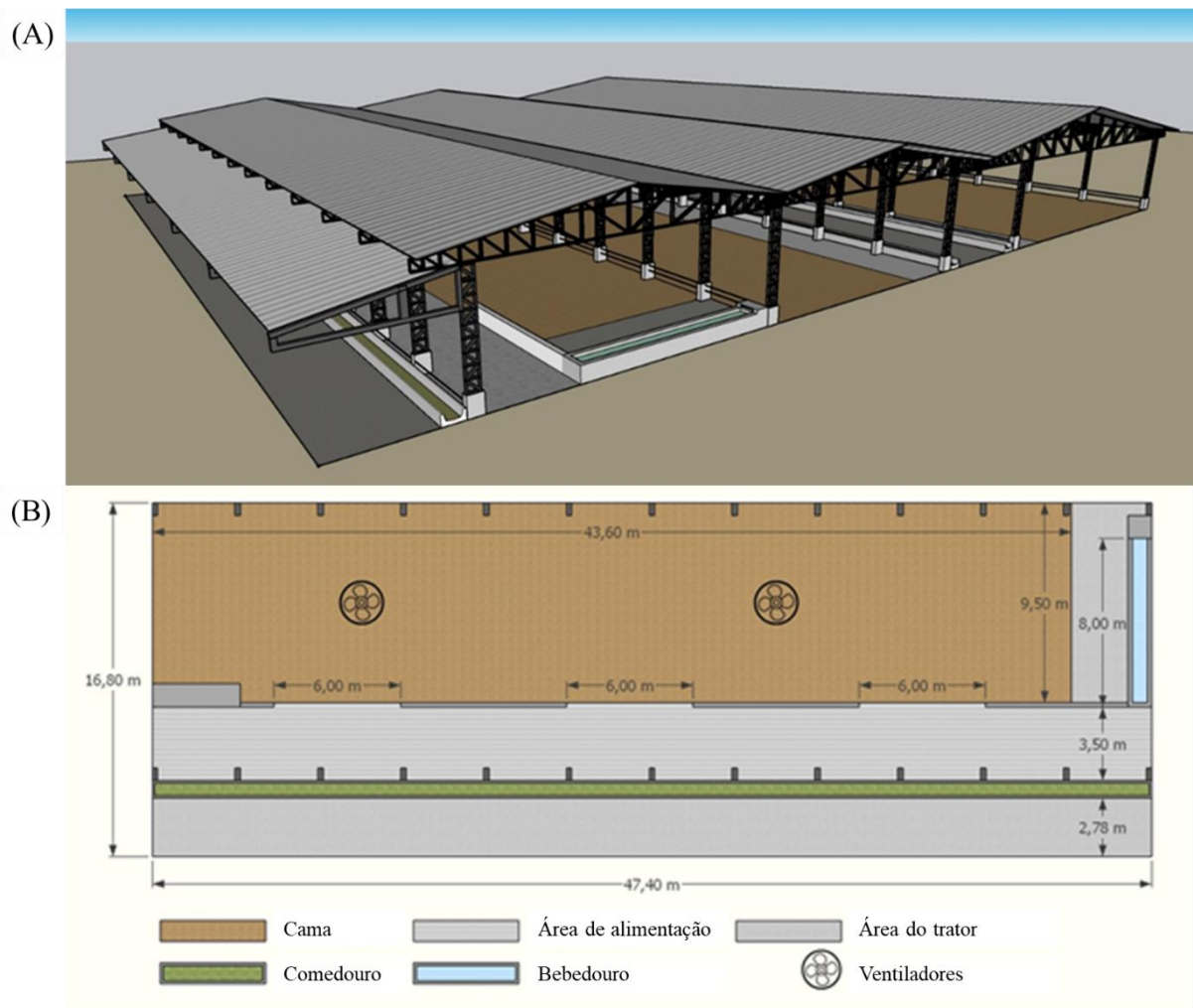
A pesquisa foi conduzida em uma fazenda com sistema *compost barn* localizada no município de Quixadá, Estado do Ceará, Brasil (latitude 4°54'23,11"S; longitude 38°55'09,70"W e altitude de 176 m) (Figura 22). De acordo com a classificação de Köppen a região é caracterizada pela transição de clima “BSh” e “Aw” (BECK et al., 2018), com precipitação anual de 712,8 mm e temperatura média do ar de 27,2 °C ano<sup>-1</sup> (INMET, 2021). O estudo foi realizado no dia 30 e 31 de julho de 2021.



**Figura 22.** Localização geográfica da fazenda com sistema *compost barn*. Polígono do sistema *compost barn* (A); vista frontal do sistema *compost barn* (B); vista lateral da instalação (C); vista do fundo da instalação *compost barn* (D).

## 2.2. Caracterização da instalação *compost barn*

A instalação *compost barn* em que foi realizada a pesquisa possui dimensões de 16,8 × 47,4 m, possuindo altura de pé direito de 5,0 m, com prolongamento de beiral de 3,5 m. A estrutura possui um corredor de 3,5 m de largura com piso de concreto que separa o cocho de alimentação da área de cama. As vacas tinham acesso a um bebedouro retangular de alvenaria, com dimensões de 8,0 × 0,8 × 0,70 m e profundidade de 0,15 m. O fornecimento de água era contínuo, sendo controlado por uma boia protegida por uma tampa de concreto. Na Figura 23 é apresentada a vista frontal e croqui da instalação *compost barn*.



**Figura 23.** Vista frontal da instalação *compost barn* (A); croqui da área de confinamento dos animais (B).

A instalação foi construída na orientação nor-noroeste (NNE) com cobertura de telha metálica (Figura 23). Dois ventiladores (Ziehl-Abegg, modelo FE2owlet-ECblue FN 125, motor EC de rotação externa, com transmissão direta e inversor de frequência interno, diâmetro de 1,5 m, número de hélices 3, fluxo de ar de  $54.000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , 640 RPM), centralizados na área de cama a uma altura de 3,10 m e com distância de 15 m entre si, permaneceram com funcionamento contínuo, exceto nos períodos em que as vacas estiveram na sala de ordenha. A primeira ordenha era realizada das 08:00 às 08:30 h (turno da manhã) e a segunda das 03:30 às 16:00 h (turno da tarde).

O sistema *compost barn* possui uma área de cama de  $412,2 \text{ m}^2$ , com densidade de alojamento para vacas leiteiras de  $10,4 \text{ m}^2 \text{ animal}^{-1}$ . Os fechamentos laterais da instalação eram feitos por cercas de arame. A instalação é composta por piso sem revestimento, a fim de proporcionar infiltração de líquidos provenientes das excretas (fezes e urinas) dos animais. A

cama da instalação era constituída de 100% de maravalha (resíduos de serragem da madeira), com aproximadamente 0,40 m de profundidade, sendo revolvida 2 vezes ao dia, imediatamente após os animais serem conduzidos a ordenha, nos horários das 08:00 e 15:30 h.

### 2.3. Composição alimentar dos animais avaliados

A partir da oxidação dos constituintes orgânicos dos alimentos de uma determinada dieta, a energia é liberada para ser utilizada pelo organismo do animal para os complexos metabólicos. A energia gerada por cada alimento é medida em calorias, ou seja, quanto mais calórico for um alimento, mais energia ele fornecerá (BERCHIELLI et al., 2011). Essa energia pode ser expressa como energia bruta (EB), energia digestível (ED), energia metabolizável (EM) e energia líquida (EL).

A energia metabolizável pode ser utilizada pelo animal, para a sua manutenção e para a produção de carne, leite e lã, ou pode ainda ser utilizada para produção de calor. Essa energia deve atender as demandas básicas do animal, sendo necessária para manter os seus processos vitais (BERCHIELLI et al., 2011). A Tabela 9 apresenta a composição de cada ingrediente segundo dados da (Embrapa Gado de Corte, 2023), utilizado na dieta das vacas em lactação, bem como seu consumo pelos animais.

**Tabela 9.** Composição dos ingredientes e consumo da dieta fornecida às vacas em lactação.

Ingredientes	Composição			Consumo		
	MS (%)	NDT (kg. kg <sup>-1</sup> . MS <sup>-1</sup> ) <sup>1)</sup>	EM (Mcal. kg <sup>-1</sup> . MS <sup>-1</sup> ) <sup>1)</sup>	MS (kg. dia <sup>-1</sup> )	NDT (kg. dia <sup>-1</sup> )	EM (Mcal. dia <sup>-1</sup> )
Silagem de milho	32,0	0,63	2,28	10,24	6,45	23,36
Resíduo úmido de cervejaria (24% MS)	24,0	0,66	2,39	5,76	3,80	13,76
Grão de milho moído	89,0	0,85	3,08	3,93	3,34	12,09
Farelo de soja	90,0	0,82	2,97	1,01	0,82	2,99
Caroço de algodão	92,0	0,90	3,26	1,38	1,24	4,49
Ureia	-	-	-	0,04	-	-
Lactação	-	-	-	0,91	-	-
<b>Total</b>				<b>23,27</b>	<b>15,65</b>	<b>56,69</b>

#### 2.4. Caracterização do lote de animais estudados

O lote avaliado continha 39 animais. Inicialmente, esses animais passaram por uma triagem a partir da avaliação da ficha de controle zootécnico da fazenda, onde foram consideradas as seguintes informações: dias em lactação (DEL), idade, número de partos, produção de leite, animais sadios (sem estar passando por tratamentos sanitários) e padrão de pelagem, para que desta forma fosse possível homogeneizar as características zootécnicas dos grupos. Como resultado, foram selecionados 8 animais, os quais foram agrupados nas categorias de vacas primíparas e vacas multíparas, para serem avaliados no estudo.

As categorias experimentais foram compostas por vacas da raça Holandesa, variedade preta e branca, em período de lactação. A produção média das vacas primíparas e multíparas avaliadas era de  $20,5 \pm 3,3$  ( $170,8 \pm 32,8$  DEL) e  $19,3 \pm 2,6$  litros ( $176,8 \pm 17,2$  DEL) de leite/dia, respectivamente. A características do lote de animais avaliados neste estudo é observado na Tabela 10, composto pelo número de partos por animal, idade, produção (litros de leite. dia<sup>-1</sup>) e DEL.

**Tabela 10.** Características do lote de animais avaliados pelo número de partos, idade, produção (litros de leite. dia<sup>-1</sup>) e DEL.

Categorias	Número de parto(s)	Idade (meses)	Produção (Litros de leite/dia)	DEL
<b>Primíparas</b>				
1	1	42 (3,5 anos)	18	207
2	1	42 (3,5 anos)	18	190
3	1	41 (3,4 anos)	21	142
4	1	40 (3,3 anos)	25	144
<b>Multíparas</b>				
1	2	52 (4,3 anos)	23	153
2	2	57 (4,7 anos)	17	194
3	3	69 (5,7 anos)	18	182
4	3	67 (5,6 anos)	19	178

O lote das vacas alojadas na instalação avaliada era alimentado duas vezes ao dia, nos horários de 06:00 e 14:30 h. A alimentação era fornecida em toda a extensão do cocho com o uso de um vagão misturador com rosca horizontal, o qual era acoplada a um trator, seguindo a proporção descrita na Tabela 10.

## 2.5. Caracterização micrometeorológica da instalação *compost barn*

A caracterização micrometeorológica do local foi realizada a partir do registro da temperatura do ar ( $T_{ar}$ , °C) e da umidade relativa do ar (UR, %), por meio de uma miniestação meteorológica automática Onset®, modelo U23-001 HOBO® Pro v2 (faixa de operação do sensor de temperatura e umidade de -40° a 70 °C, 0 a 100% UR, respectivamente), a qual foi disposta no centro geométrico da instalação e a cerca de 1,0 m acima da cama. A miniestação meteorológica permaneceu na instalação durante todo o período experimental, sendo os registros efetuados a cada 10 minutos, o que permitiu a determinação do índice de temperatura e umidade (ITU) com base no modelo de Berman et al. (2016).

Para registro da temperatura de globo negro (BGT, °C) foi utilizado o equipamento AmbienteLab, situado a uma altura de 1,50 m do piso, no centro geométrico da instalação e devidamente validado por Silva et al. (2020), no qual foi feito o registro da BGT em uma instalação *compost barn*, localizada no município de Lajedo, semiárido pernambucano por Silva et al. (2020), no qual, apresenta características meteorológicas semelhantes ao do presente estudo (conforme a classificação de Köppen a região é caracterizada pela transição de clima “BSh” e “Aw” de acordo com Beck et al. (2018), com precipitação anual de 873 mm e temperatura média do ar de 24 °C ano<sup>-1</sup>, conforme o INMET (2021).

Posteriormente, foi estabelecido um modelo de regressão múltipla para estimativa da TGN no município de Quixadá, por se tratar de regiões homoclimáticas. Esse procedimento possibilitou a determinação do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) proposto por Buffington et al. (1981).

A determinação da temperatura de ponto de orvalho (TPO) foi realizada com base no modelo proposto por Raes e Munoz (2009), conforme a equação 25. A empregabilidade da TPO neste estudo, baseou-se em sua sensibilidade com o ambiente, assim como sua empregabilidade na caracterização do conforto térmico conforme evidenciado por Thom (1959) e Buffington et al. (1981). Diante disso, os autores buscaram verificar se essa variável apresenta sensibilidade com as variáveis meteorológicas e índice de conforto empregados no presente estudo.

$$TPO = \frac{237,1 \left( \frac{\ln \left( \frac{UR}{100} \right)}{17,27} + \frac{T_{ar}}{(237,3 + T_{ar})} \right)}{1 - \left( \frac{\ln \left( \frac{UR}{100} \right)}{17,27} + \frac{T_{ar}}{(237,3 + T_{ar})} \right)} \quad (\text{Eq. 25})$$

em que,

$T_{ar}$  – temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );

UR – umidade relativa do ar (%).

A umidade relativa (UR) é variável abiótica que tem maior influência na dissipação de calor latente por parte do animal, sendo essa variável uma das precursoras na caracterização das condições de conforto e estresse térmico dos animais. Maiores valores de UR há de acarretar em uma menor dissipação de calor latente por parte do animal, pois conduz a uma menor evaporação da água presente no animal para o meio, tornando o resfriamento do mesmo mais lento e vice-versa (SANTOS et al., 2017). A utilização do TPO como alternativa à UR foi considerada, visto que essa temperatura é caracterizada pela máxima UR acumulada no ar suficiente para sua condensação, chamada de orvalho.

## 2.6. Registro da temperatura vaginal dos animais

A temperatura vaginal ( $T_v$ ) foi registrada em quatro vacas primíparas e quatro múltíparas, por meio de sensores de temperatura equipados com *data loggers* (Thermochron iButton, modelo DS1921H-F5, faixa de 15 a 46  $^{\circ}\text{C}$ , precisão:  $\pm 1$   $^{\circ}\text{C}$ ), os quais foram anexados em dispositivos intravaginais (Primer Monodose - Tecnopec), adaptados para a acomodação do sensor conforme descrito por Burdick et al. (2012); em seguida, os dispositivos, previamente desinfetados e autoclavados, foram inseridos nas vacas por meio de um aplicador de liberação de progesterona intravaginal bovina (CIDR Interag, Hamilton, Nova Zelândia), com alcance de aproximadamente 20 cm de cavidade vaginal, conforme descrito por Verwoerd et al. (2006).

Os sensores, constituídos de aço inoxidável, que possuíam 17,35 mm de circunferência, 5,89 mm de diâmetro e 3,3 g, conforme descrito pelo fabricante, foram programados para registrar a temperatura em intervalos de quinze minutos, por um período de 24 horas.

Todos os procedimentos de coleta da ( $T_v$ ) foram realizados por um médico veterinário, onde os animais foram considerados clinicamente saudáveis. Não foram identificadas reações inflamatórias clínicas relacionadas a inserção dos sensores de temperatura intravaginais. Finalizado o período de coleta experimental, os dispositivos foram removidos e os dados de ( $T_v$ ) foram exportados para computador pessoal, em formato de arquivo CSV por meio de software ExpressThermo (Eclo Lda, Portugal).

## 2.7. Análises estatísticas



### 2.7.1. Estatística descritiva

Os dados meteorológicos ( $T_{ar}$ , °C; UR, %; TGN, °C; TPO, °C), índices de conforto térmico (ITU; ITGU) e fisiológico ( $T_v$ , °C) foram submetidos à análise estatística descritiva, para obtenção da média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV, %). O CV foi classificado como baixo ( $CV < 12\%$ ); médio ( $12\% < CV < 24\%$ ) e alto ( $CV > 24\%$ ) conforme proposto por Warrick e Nielsen (1980). Posteriormente, aplicou-se o teste de normalidade de Kolmogorov–Smirnov ( $p \leq 0,01$ ).

### 2.7.2. Análise de agrupamento (AC) pelo Coeficiente de Correlação Cofenética (CCC)

A técnica de análise de agrupamento (AC) foi aplicada a temperatura vaginal ( $T_v$ ), aos dados meteorológicos e aos índices de conforto térmico, a fim de verificar qual(is) a(s) principal(is) variável(is) preditor(a)s que tem influência sobre a  $T_v$  das vacas de leite, para o estabelecimento do modelo de regressão múltipla não-linear.

No estudo, o método hierárquico aglomerativo de ligação foi selecionado com base no valor do Coeficiente de Correlação Cofenética (CCC) admitindo nível de significância superior a 0,7 ( $CCC > 0,7$ ) (OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2021) e o valor-p de 99% ( $\text{valor-p} < 0,01$ ). Os métodos empregados e testados neste estudo foram: ligação simples, ligação completa, ligação média entre grupo, método de Ward, método de Ward (d2), método da mediana, método do centróide e o método mcquitty. A medida de dissimilaridade utilizada no estudo foi o quadrado da distância euclidiana.

O grau de ajuste das ligações foi avaliado utilizando o coeficiente de correlação cofenética (CCC). Este coeficiente mede a associação entre a matriz de dissimilaridade (matriz fenética F) e a matriz resultante da simplificação proporcionada pelo método de agrupamento (matriz cofenética c). O CCC é baseado no coeficiente de Pearson (r), que é calculado entre a matriz de dissimilaridade e a matriz resultante do processo de agrupamento (SOKAL e ROHLF, 1962). Assim, quanto maior o valor de r, menor a distorção. Na prática, dendrogramas com  $CCC < 0,7$  indicam a inadequação da técnica de AC (SOKAL e ROHLF, 1962; OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2021).

### 2.7.3. Análise de regressão múltipla

O estabelecimento do melhor método de agrupamento para as variáveis, permitiu selecionar as variáveis preditoras com influência direta na temperatura vaginal ( $T_v$ ) dos animais, de modo a estabelecer índice fisiológico representativos da  $T_v$ , em que se admite como o indicador mais próximo da temperatura de núcleo corporal dos animais. Adotou-se o maior

coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o valor-p inferior a 0,01 ( $p < 0,01$ ), o r de Pearson e a raiz quadrada do erro médio (RMSE), para a validação dos modelos estabelecidos. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R Studio versão 4.03 (R Core Team, 2020).

### 3. Resultados e discussão

A estimativa da temperatura do globo negro (TGN) neste estudo, foi determinada por um modelo de regressão múltipla, com base em 2421 observações contínuas, em uma instalação *compost barn* localizada no município de Lajedo-PE, no qual, a análise de variância, juntamente às variáveis preditoras do modelo ( $T_{ar}$ , °C, UR, %) e a equação estabelecida, são apresentados na Tabela 11. Tanto o modelo de regressão quanto suas variáveis preditoras foram significativos (valor-F) a 1% de probabilidade e o valor-P foi inferior a 0,01, o que caracteriza a eficiência e validação do modelo de regressão estabelecido. Corroborando os resultados desse estudo, Silva et al. (2020) estabeleceram um modelo de conforto térmico para vacas de leite em sistema *compost barn* para região semiárida e observaram ajuste satisfatório, assim como validação precisa (valor-p < 0,01) para o modelo gerado.

**Tabela 11.** Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão múltipla estabelecido para a temperatura de globo negro (TGN).

Fonte	GL	SQ	QM	Valor F	Valor-P
Regressão	2	15000,90	7500,46	43726,04**	0,000
UR	1	99,40	99,45	579,77**	0,000
Tar	1	14,00	13,96	81,38**	0,000
Erro	2419	414,9	0,17		
Total	2421	15415,9			

Preditores do modelo	Coeficientes de regressão			
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$R^2$
UR, $T_{ar}$	34,56	-0,1695	0,2531	0,9731
Regressão múltipla	$TGN = 34,56 - (0,1695 \times UR) + (0,2531 \times T_{ar})$			

GL - grau de liberdade; SQ - soma dos quadrados; QM - quadrado médio; UR - umidade relativa;  $T_{ar}$  - temperatura do ar; \*\* significativo a 1% de probabilidade.

O coeficiente de determinação do modelo estabelecido (TGN) apresentou ajuste satisfatório ( $R^2 = 0,9731$ ). Resultado semelhante foi apontado por Berman et al. (2016), que

estabeleceram um modelo de regressão múltipla para caracterização do conforto térmico para vacas de leite e obtiveram ajuste de 0,99.

A estatística descritiva da temperatura vaginal ( $T_v$ ), temperatura do ar ( $T_{ar}$ ), umidade relativa (UR), temperatura de ponto de orvalho (TPO), temperatura de globo negro (TGN), índice de temperatura e umidade (ITU) e índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) são apresentados na Tabela 12.

**Tabela 12.** Estatística descritiva dos valores de média, desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV), mínimo (Mín) e máximo (Máx), das variáveis ambientais, fisiológica e índice de conforto animal.

Variável	Manhã					Tarde				
	média	DP	CV	Mín	Máx	média	DP	CV	Mín	Máx
$T_v$	39,11	0,20	0,51	38,68	39,46	39,39	0,32	0,81	38,64	39,88
T	26,90	3,77	14,00	21,51	32,83	35,24	1,48	4,20	32,35	38,18
UR	70,93	18,22	25,69	42,47	94,63	37,80	3,71	9,81	33,86	44,11
TPO	18,85	0,92	4,87	17,00	20,25	17,17	1,70	9,91	14,50	20,98
TGN	29,35	4,04	13,75	24,01	35,67	37,07	0,74	2,00	35,27	37,90
ITU	77,02	5,81	7,54	67,50	84,29	87,18	2,72	3,12	83,15	93,62
ITGU	78,44	4,08	5,20	72,90	84,85	86,78	0,99	1,14	84,40	88,15

$T_v$  - temperatura vaginal ( $^{\circ}\text{C}$ ); T - temperatura do ar; UR - umidade relativa (%); TPO - temperatura de ponto de orvalho ( $^{\circ}\text{C}$ ); TGN - temperatura de globo negro ( $^{\circ}\text{C}$ ); ITU - índice de temperatura e umidade (adimensional); ITGU - índice de temperatura de globo negro e umidade (adimensional).

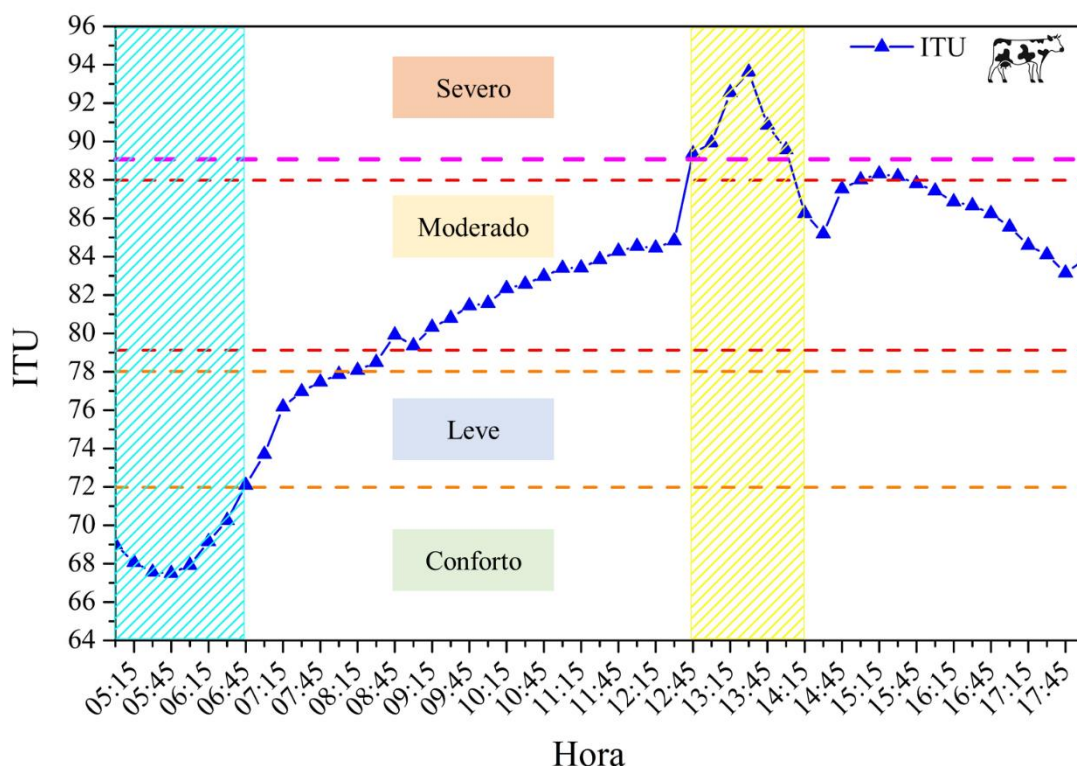
De acordo com o critério de Warrick e Nielsen (1980) o coeficiente de variação foi alto apenas para UR no turno da manhã, enquanto para as demais variáveis ( $T_v$ , T, TPO, TGN, ITU e ITGU) variou de baixo a médio no turno da manhã. Enquanto isso, no turno da tarde o CV foi baixo para todas as variáveis, o que indica homogeneidade das variáveis meteorológicas no ambiente em que os animais estavam confinados, atribuído principalmente a eficácia do sistema de ventilação forçada em promover a manutenção das condições micrometeorológicas no sistema de alojamento *compost barn*.

Resultados semelhantes foram alcançados por Peixoto et al. (2019), que estudaram a dinâmica espacial de variáveis meteorológicas via modelos de semivariogramas geoestatísticos

em sistema *compost barn*, os autores afirmaram que a eficiência térmica desse sistema é promissora, aliado principalmente ao sistema de ventilação.

Todavia, de acordo com os valores mínimos, máximos e médios a partir da coleta de dados de dois dias consecutivos, o ITU caracterizou-se fora da zona de conforto térmico dos animais, com exceção no turno da manhã, onde o seu valor mínimo foi de 67,50, o que denota uma condição de conforto térmico para os animais (Tabela 12). Conforme Silva et al. (2020), que realizaram uma modelagem matemática para determinação do ITU em sistema *compost barn* na região semiárida do Brasil, os autores sinalizam que limiares de ITU acima de 71, caracterizam-se como início de uma condição de estresse térmico para os animais, recomendando dessa forma, um manejo mais adequado da instalação, com ênfase ao revolvimento da cama (e.g., piso composto por material orgânico) da instalação.

A partir dos dados obtidos nos dois dias de coleta, na Figura 24 é apresentada as condições médias do ITU para a instalação *compost barn*. De acordo com Armstrong (1994), com a finalidade de caracterizar o estresse térmico a partir do ITU, variações no escalar do ITU na ordem de 72 a 78, é definido como ameno ou brando, moderado é classificado com valores na ordem de 79 a 88 e severo de 89 a 98. ITU abaixo de 72 caracteriza-se como uma condição de conforto térmico para vacas de produção de leite.



**Figura 24.** Caracterização das condições médias do Índice de Temperatura e Umidade (ITU)

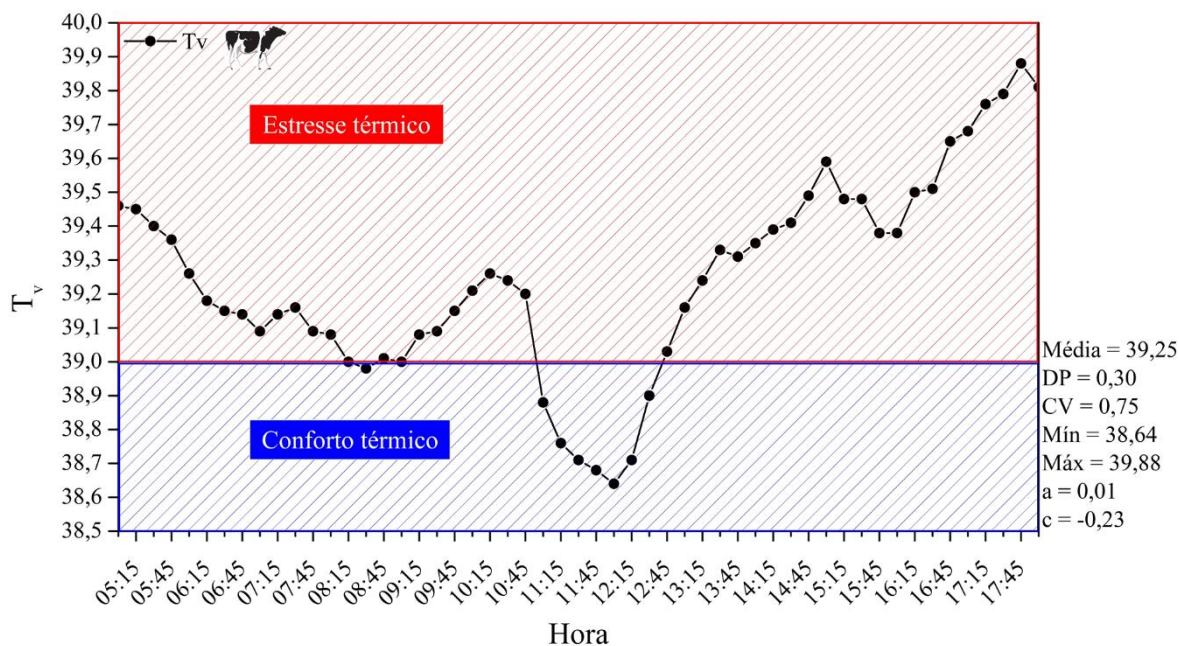
para a instalação *compost barn*.

A partir das observações realizadas na Figura 24, nota-se que os valores de ITU foram de condição de conforto para condição de estresse severo para os animais. De acordo com critério estabelecido por Armstrong (1994) apenas nos primeiros horários do dia (até as 06:45 am) os animais se mantiveram sob uma condição de conforto térmico ( $ITU < 72$ ). O período mais crítico para os animais (ITU severo) foi nos primeiros horários da tarde (12:45 a 14:15 h). Nos demais horários do período estudado, os valores de ITU oscilaram em condições de estresse ameno ou brando (72 a 78) a moderado (79 a 88), o que denota principalmente a eficiência térmica da instalação *compost barn*, por apresentar maior frequência de condição mais amenas para o ambiente. Corroborando com os resultados observados neste estudo Silva et al. (2020), que caracterizaram as condições ambientais e ITU de uma instalação *compost barn* em região semiárida, destacam a eficiência térmica destas instalações em propagar melhores condições de conforto para os animais, principalmente nas condições do ITU.

O ITU é considerado um dos índices de conforto térmico mais importantes empregados na caracterização das condições de conforto térmico dos animais, possibilitando associar com as respostas comportamentais e fisiológicas dos animais. Diversos estudos destacam e reforçam a importância e aplicabilidade do ITU na caracterização do conforto dos animais ou de uma dada região de superfície via modelagem (DENIZ et al., 2019; CAO et al., 2021; JÚNIOR et al., 2021; LAURINDO et al., 2022; SILVA et al., 2022).

A  $T_v$  apresentou valores mínimos e máximos de 38,68 e 39,46 °C, no turno da manhã e, de 38,64 e 39,88 °C, no turno da tarde, respectivamente (Tabela 13). Já os valores médios foram de 39,11 e 39,39 °C pela manhã e tarde, respectivamente, com variação de 0,28 °C entre os turnos. Corroborando os achados deste estudo, Oliveira et al. (2019) e Yan et al. (2020), que avaliaram as condições de conforto térmico em novilhas e vacas em lactação, respectivamente, observaram limiares de conforto térmico para  $T_v$  de 38,70 °C, no qual, valores acima de 39 °C são caracterizados como indicador de estresse térmico nos animais.

A fim de verificar a dinâmica temporal da  $T_v$ , na Figura 25 é apresentada a  $T_v$  média do período de estudo e dos animais (primíparas e múltíparas). Nota-se que no início e final do dia os valores de  $T_v$  superam os 39 °C, no qual, os animais se encontram em uma condição de estresse térmico. Os valores de  $T_v$  só apresentam uma condição de conforto nos horários de meio dia (Figura 25), esse fenômeno ocorre em decorrência do efeito acumulativo e propagativo de conforto e estresse térmico ao longo do dia.



**Figura 25.** Caracterização da temperatura vaginal média das vacas leiteiras.

**Nota:** DP – Desvio Padrão; CV – Coeficiente de Variação; Mín – Mínimo; Máx – Máximo; a – Assimetria; c – Curtose.

Analisando o ITU (Figura 24) é possível observar que nos primeiros momentos do dia, a condição é de conforto, enquanto ao final do dia a condição é de estresse térmico, no qual, a resposta fisiológica de conforto do animal em função do ITU, só há de propagar ao longo do dia, conforme é observado o conforto fisiológico do animal ao meio dia (Figura 25). Conforme o ITU aumenta ao longo do tempo, o animal há de responder ao estresse térmico posteriormente. Corroborando com os resultados desse estudo, Silva et al. (2021a) que analisaram variáveis meteorológicas, respostas fisiológicas e comportamentais de vacas submetidas a diferentes tempos de resfriamento e sua influência na qualidade do leite, nos períodos seco e chuvoso, apontam em seu estudo que a resposta dos animais aos efeitos ambientais e de índices de conforto é decorrente de um efeito acumulativo e propagativo de conforto e estresse térmico ao longo do tempo (horas e ou dia).

Foram utilizadas oito análises de agrupamento (AC) por diferentes métodos para os dados ambientais, índices de conforto térmico e indicador fisiológico, em que se aplicou o coeficiente de correlação cofenética (CCC) associado a condição de valor-p inferior 0,01, conforme observado na Tabela 13. Dentre os métodos utilizados, os que apresentaram melhores ajustes foram o método de ligação simples, ligação média entre grupos e o método do centróide, com valores de CCC da ordem de 0,9329, 0,9331 e 0,9326, respectivamente. O valor-p dos três

métodos destacados foram de 0,001, 0,004 e 0,002, respectivamente, atendendo a condição estabelecida (valor-p < 0,01).

**Tabela 13.** Métodos de análise cluster empregados nas variáveis ambientais, fisiológica e índice de conforto animal, precedidos de seus respectivos coeficientes de correlação cofenética (CCC) e valor-p.

Método	CCC	valor-p	Método	CCC	valor-p
Ligação simples	0,9329	0,001	Método de Ward (d2)	0,9220	0,002
Ligação completa	0,8743	0,001	Método da mediana	0,9196	0,003
Ligação média entre grupo	0,9331	0,004	Método do centroide	0,9326	0,002
Método de Ward	0,9033	0,001	Método mcquitty	0,9299	0,001

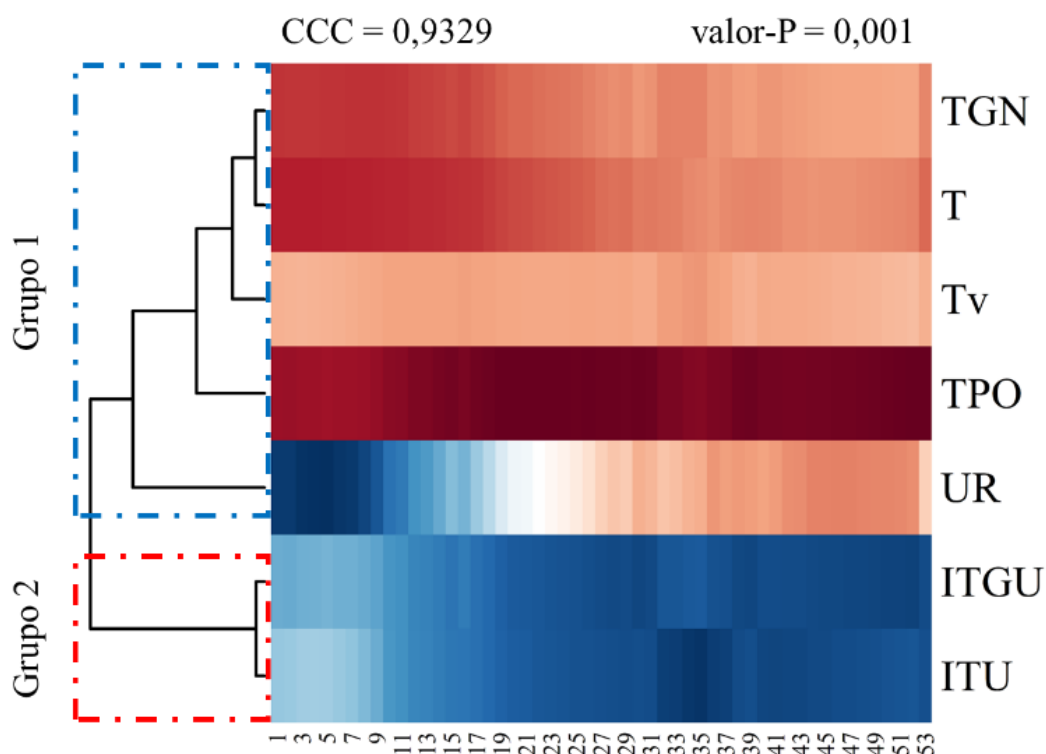
O emprego do CCC na ambiência animal ainda é pouco difundido, com escassos trabalhos ressaltando sua eficiência, aplicabilidade e precisão da técnica. Tratando-se de sua aplicabilidade em variáveis ambientais, índices de conforto e indicadores fisiológicos, não possuem estudos ou recomendações de melhores métodos de agrupamento que podem ser empregados. Estudos como de Baena et al. (2019) que através da análise Cluster, buscaram verificar as respostas morfológicas e fisiológicas relacionadas à adaptação ao calor de raças taurinas criadas em condições meteorológicas brasileiras em diferentes estações do ano e períodos do dia, onde os autores exploraram a análise Cluster, mas não aplicaram o CCC para determinar qual o melhor método a ser aplicado em suas análises. Se os autores supracitados, tivessem explorado o CCC na análise Cluster, é provável que seus resultados teriam sido mais precisos.

A exploração da análise Cluster dentro do campo da ambiência animal, vem comumente sendo aplicado em análise de dados ambientais, fisiológicos, comportamentais e índices de conforto térmico, na tentativa de analisar os diversos efeitos ambientais sobre as condições de conforto e/ou estresse dos animais. Todavia, a não observância do CCC, pode comprometer a análise de um dado conjunto de dados como um todo. Estudos como de Stachowicz et al. (2022) que analisaram dados de séries temporais na tentativa de detectar padrões comportamentais complexos e potencialmente fornece novas oportunidades para avaliar o bem-estar animal, ou mesmo, estudo como de Vasconcelos et al. (2020) que analisaram principais variáveis (fisiológicas, ambientais e índices de conforto térmico) que atuam no perfil adaptativo e na dinâmica das respostas termorreguladoras de vacas leiteiras, todos esses estudos exploraram suas variáveis estudadas via análise Cluster, mas nenhum

aplicou a análise CCC ou mesmo recomendou o melhor método e mais preciso para o agrupamento de suas variáveis. Diante disso, a necessidade de explorar com mais cautela e de forma mais precisa um dado conjunto de dados no campo da ambiência animal, faz-se necessário.

Barbosa et al. (2005) e Whitehead (2009) utilizaram a análise de agrupamento na ambiência animal com a aplicação do CCC e observaram resultados satisfatórios, com valores da ordem de 0,848 e 0,790, respectivamente. Contudo, os estudos desenvolvidos pelos autores ainda carecem de teste de sensibilidade de mais métodos de agrupamento, afim de recomendar o melhor método. Diante disso, os resultados apontados neste estudo são promissores e base para a recomendação da técnica em estudo futuros.

A partir da análise preliminar nas variáveis ambientais, índices de conforto e fisiologia animal, a partir do CCC, selecionou-se o método de ligação simples para gerar o dendrograma heatmap do conjunto de dados por apresentar o menor valor-p (0,001), a representação heatmap pode ser observada na Figura 26. Verifica-se a formação de dois grupos distintos, o primeiro (Grupo 1) formado pela temperatura de globo negro (TGN), temperatura do ar (T), temperatura vaginal (T<sub>v</sub>), umidade relativa (UR) e temperatura de ponto de orvalho (TPO); já o segundo grupo (Grupo 2) é formado pelo índice de temperatura e umidade (ITU) e o índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU).



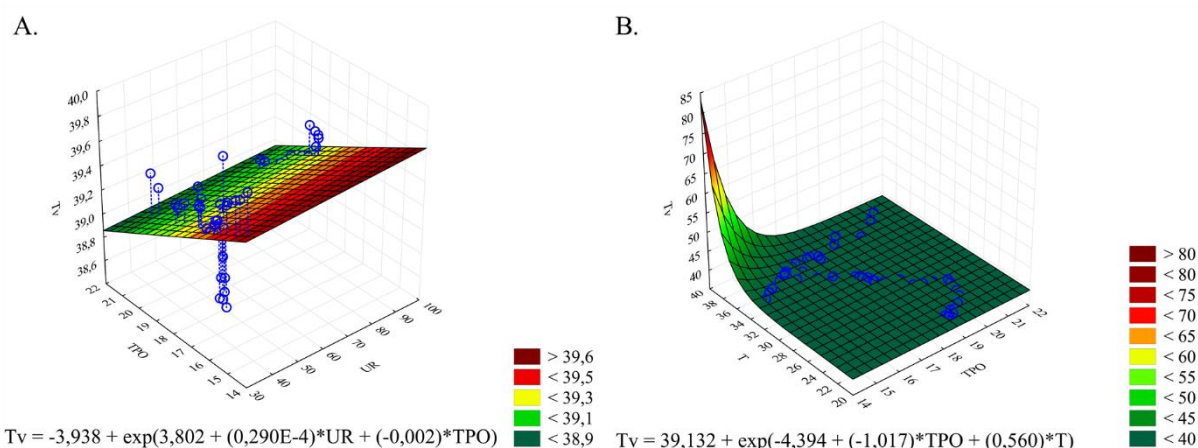


**Figura 26.** Análise de agrupamento via heatmap com base no método de ligação simples para as variáveis ambientais, índices de conforto e fisiológica.

Corroborando os resultados desse estudo, Ribeiro et al. (2020) avaliaram a zona termoneutra para galinhas poedeiras com base nas condições ambientais, entalpia e índices de conforto térmico por meio da análise de agrupamento e os autores observaram correlação das variáveis ambientais (T e UR) e dos índices de conforto térmico (ITU e ITGU). Contudo, o estudo ainda carece de validação do método de agrupamento empregado, em que os autores utilizaram o método de Ward, sendo esse um método para análise de padrões de chuva, conforme apontado por Silva et al. (2021b).

A  $T_v$  apresenta forte correlação com a TGN, Tar, TPO e UR (Figura 26), admitindo-se que as variáveis fisiológicas, como a  $T_v$ , tendem a ter maior relação com variáveis abióticas, por essas variáveis comporem a atmosfera em que os animais se encontram alojados. Resultados semelhantes ao presente estudo foram encontrados por Wang et al. (2018) e Silva et al. (2020) que caracterizaram variáveis fisiológicas em vacas de produção de leite por meio de variáveis abióticas e estabeleceram índices de conforto térmico; os autores também destacam que variáveis abióticas tem forte correlação com variáveis fisiológicas, sendo fundamental a sua caracterização afim de predizer os padrões de conforto dos animais.

A partir das correlações observadas pela análise de agrupamento, por meio do método de ligação da simples e devidamente validados pelo CCC, foram selecionadas as principais variáveis preditoras que possuem maior correlação com a temperatura vaginal ( $T_v$ ). A partir desta análise preliminar foram estabelecidos dois modelos de regressão múltipla através da técnica exponencial, conforme observados na Figura 27.



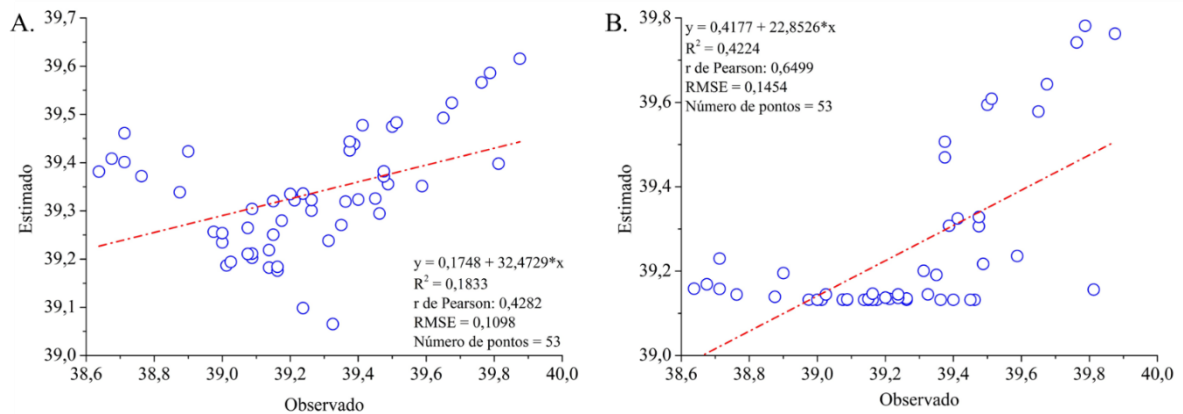
**Figura 27.** Estimativa da temperatura vaginal em função de suas variáveis preditoras, para o

modelo 1 (A) - temperatura de ponto de orvalho (TPO, °C) e umidade relativa (UR, %) e modelo 2 (B) - temperatura do ar (T, °C) e temperatura de ponto de orvalho (TPO, °C).

O primeiro modelo (Figura 27A) para estimar a  $T_v$ , tem como variáveis preditoras a umidade relativa (UR) e a temperatura de ponto de orvalho (TPO); enquanto o segundo modelo tem como variáveis preditoras a TPO e a temperatura do ar (T). A sensibilidade de variáveis abióticas como as observadas neste estudo, apresenta forte relação com variáveis fisiológicas, como a  $T_v$ , tais afirmação também são evidenciadas por Berman et al. (2016), que estabeleceram um modelo para caracterização do conforto térmico de vacas de produção de leite.

Observa-se na Figura 27A, que o modelo 1 não apresentou sensibilidade ajustável para as variáveis preditoras, com baixo coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,1833$ ). Na Figura 27B, nota-se que o modelo 2 para estimativa da  $T_v$ , apresentou ajuste satisfatório ( $R^2 = 0,4224$ ). Todavia, em se tratando da sensibilidade dos modelos, o modelo 1 (Figura 27A) é mais representativo, pois, os intervalos mínimos e máximos da  $T_v$ , são de 38,60 a 40,00 °C, intervalos esses que estão dentro das condições naturais da  $T_v$  dos animais, tendo como base os dados observados em campo e apresentados na Tabela 13, para intervalos da TPO de 14,00 a 21,00 °C e UR de 30 a 100%. Já no modelo 2 (Figura 27B), observa-se maior sensibilidade da  $T_v$  com a temperatura do ar (T), porém, a temperatura do ar acima dos 35 °C, superestima a  $T_v$ , extrapolando valores de  $T_v$  acima dos 40 °C, no qual, a depender das condições (temperatura do ar) pode chegar até os 80 °C, o que não condiz com a realidade. Corroborando os resultados desse estudo, Lee et al. (2015) avaliaram a temperatura corpórea central de vacas Holandesas por medição contínua via sonda intravaginal, em que os autores destacaram que a temperatura corpórea central tem uma alta sensibilidade com a temperatura do ar.

Para validar o modelo estabelecido, foi realizada a validação cruzada dos modelos 1 (Figura 28A) e 2 (Figura 28B) com os dados levantados no campo, extraindo o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o  $r$  de Pearson e a raiz quadrada do erro médio (RMSE), conforme observados na Figura 28A (modelo 1) e 28B (modelo 2). O modelo 2 foi o que apresentou o melhor ajuste com base no  $r$  de Pearson com o valor de 0,6499 e um RMSE 0,1454, para uma condição de  $T_{ar}$  até 35 °C. Dessa forma, o modelo 2 apresenta melhor ajuste e erro baixo, portanto, se destacando como um modelo promissor para caracterização da  $T_v$  de vacas de leite.



**Figura 28.** Valores observados versus o estimado do modelo 1 (A) e modelo 2 (B).

Todavia, em se tratando de menor margem de erro absoluto, o modelo 1 (Figura 28A) foi o que apresentou o menor RMSE, ou seja, dentre os modelos, foi o que apontou menor margem de erro em função dos dados observados, sendo mais fiel a estimativa da  $T_v$  entre 38,0 a 40,0 °C. O intervalo de predição eficiente e precisa da  $T_v$  para ambos os modelos estabelecidos é de 38,60 a 40,00 °C, sendo o mínimo (38,60 °C) caracterizado por uma condição de conforto térmico dos animais. Oliveira et al. (2019) e Yan et al. (2020) afirmam que animais com temperatura de núcleo média de 38,70 °C é caracterizada como uma condição de conforto térmico e valores acima de 39 °C é caracterizado por uma condição de estresse térmico. Em concordância com os resultados deste estudo, Wenz et al. (2011) avaliaram os fatores associados à temperatura retal de vacas de leite da raça Holandês e destacaram que a temperatura média de conforto dos animais é em média da ordem de 38,80 °C, condizendo com os achados do presente estudo.

Os resultados apontados nesta pesquisa servirão de base para caracterização da  $T_v$  em vacas de leite e auxiliará os pequenos, médios e grandes produtores de leite na tomada de decisão, assim como a sua fácil empregabilidade, dispensando o uso de equipamentos para caracterização do conforto de vacas em lactação. Os modelos aqui propostos servem como suporte e são promissores para modelagem e refinamento de um modelo que possa prever com maior precisão a temperatura vaginal de vacas de leite em pesquisas futuras.

#### 4. Conclusões

O emprego do coeficiente de correlação cofenética (CCC) para o estabelecimento do melhor método de agrupamento, é viável. Com base na análise comparativa, através dos oito métodos de ligação da técnica de análise de agrupamento utilizados neste estudo, o método de

ligação simples é o ideal com base no CCC, respondendo de forma satisfatória, sendo recomendado em estudos na área da ambiência animal.

Através da análise de agrupamento pelo método de ligação simples, foi possível estabelecer as principais variáveis preditoras sendo-as TPO e UR para desenvolvimento dos modelos de regressão linear múltipla, destacando a eficiência de realizar uma análise de agrupamento para estabelecimento de variáveis preditoras. A abordagem de uma análise multivariada como a de agrupamento para uma análise múltipla de um conjunto de dados, mostrou-se eficaz.

Correlacionando os valores de temperatura vaginal com o índice de temperatura e umidade, foi possível observar que os limiares de estresse térmico nos animais com base no ITU os valores de temperatura vaginal foram acima de 39 °C, caracterizando-se como uma condição de estresse térmico para os animais. Valores de temperatura vaginal abaixo de 39 °C representam uma condição de conforto térmico dos animais.

Os modelos de regressão para estimativa da temperatura vaginal são promissores na caracterização do conforto térmico de vacas de leite confinadas em sistema *compost barn*, sendo o modelo 1 recomendado para situações de temperatura de ponto de orvalho (TPO) de 14,00 a 21,00 °C e umidade relativa (UR) de 30 a 100%; enquanto o modelo 2, poderá ser utilizado para situações de temperatura do ar (Tar) de até 35 °C. Portanto, ainda existe a necessidade de pesquisas futuras para a caracterização da temperatura vaginal, a fim de aprimorar o modelo de predição para esta variável.

## 5. Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEA) e ao Grupo de Pesquisa em Ambiência (GPESA) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e à Universidade Federal do Ceará (UFC) pelo apoio ao desenvolvimento desta pesquisa. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - Código Financeiro 001) para o financiamento de bolsas.

## 6. Referências

- ARMSTRONG, D. Heat stress interaction with shade and cooling. **Journal of Dairy Science**, v. 77, n. 7, p. 2044-2050, 1994. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77149-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77149-6)
- BAENA, M. M. et al. Heat tolerance responses in a *Bos taurus* cattle herd raised in a Brazilian climate. **Journal of Thermal Biology**, v. 81, p. 162-169, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.02.017>

- BARBOSA, L. et al. Evaluation of genetic divergence among lines of laying hens using cluster analysis. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 7, n. 2, p. 79-83, 2005. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2005000200003>
- BARRETO, C. D. et al. Infrared thermography for evaluation of the environmental thermal comfort for livestock. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, p. 881-888, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01878-0>
- BATISTA, P. H. D. et al. Thermal images to predict the thermal comfort index for Girolando heifers in the Brazilian semiarid region. **Livestock Science**, v. 251, p. 104667, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104667>
- BECK, H. E. et al. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, v. 5, n. 1, p. 1-12, 2018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de Ruminantes**. 2. ed. Jaboticabal, SP: Funep, 2011.
- BERMAN, A. et al. A comparison of THI indices leads to a sensible heat-based heat stress index for shaded cattle that aligns temperature and humidity stress. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, n. 10, p. 1453-1462, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1136-9>
- BORGES, P. H. et al. Artificial neural networks for predicting animal thermal comfort. **Engenharia Agrícola**, v. 38, p. 844-856, 2018. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n6p844-856/2018>
- BUFFINGTON, D. E. et al. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 24, n. 3, p. 711-714, 1981. <https://doi.org/10.13031/2013.34325>
- CAO, M. et al. Modeling of heat stress in sows part 2: Comparison of various thermal comfort indices. **Animals**, Basel, v. 11, n. 6, p. 1498, 2021. <https://doi.org/10.3390/ani11061498>
- CHUNG, H. et al. Using implantable biosensors and wearable scanners to monitor dairy cattle's core body temperature in real-time. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 174, p. 105453, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105453>
- DENIZ, M. et al. High biodiversity silvopastoral system as an alternative to improve the thermal environment in the dairy farms. **International Journal of Biometeorology**, v. 63, p. 83-92, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1638-8>
- EMBRAPA GADO DE CORTE. **Suplementação de bovinos em pastejo "Cálculo de um suplemento"**. Disponível em: <https://old.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/doc/doc108/05calculo.html#:~:text=Exemplo%3>

- A%20c%C3%A1lculo%20do%20custo%20da,%2C85%2Fkg%20de%20PB. Acesso em 25 de janeiro de 2023.
- FOROUSHANI, S; AMON, T. Thermodynamic assessment of heat stress in dairy cattle: lessons from human biometeorology. **International Journal of Biometeorology**, v. 66, n. 9, p. 1811-1827, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02321-2>
- GEBREMEDHIN, K. G. et al. Modeling conductive cooling for thermally stressed dairy cows. **Journal of Thermal Biology**, v. 56, p. 91-99, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.01.004>
- HICKS, L. C. et al. Comparison of methods of measuring deep body temperatures of dairy cows. In: Livestock Environment VI, Proceedings of the 6th International Symposium 2001, p. 432. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, 2001. <https://doi.org/10.13031/2013.7101>
- INMET. **Normais climatológicas do Brasil**. [online]. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 25 ago. 2021.
- JEELANI, R. et al. Reassessment of temperature-humidity index for measuring heat stress in crossbred dairy cattle of a sub-tropical region. **Journal of Thermal Biology**, v. 82, p. 99-106, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.03.017>
- Jl, B. et al. A review of measuring, assessing and mitigating heat stress in dairy cattle. **Biosystems Engineering**, v. 199, p. 4-26, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.07.009>
- Jl, B. et al. Modelling of heat stress in a robotic dairy farm. Part 2: Identifying the specific thresholds with production factors. **Biosystems Engineering**, v. 199, p. 43-57, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.11>
- JUNIOR, N. K. et al. Spatiotemporal variations on infrared temperature as a thermal comfort indicator for cattle under agroforestry systems. **Journal of Thermal Biology**, v. 97, p. 102871, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102871>
- LAURINDO, G. M. et al. Thermal Environment and Behavior Analysis of Confined Cows in a Compost Barn. **Animals**, v. 12, n. 17, p. 2214, 2022. <https://doi.org/10.3390/ani12172214>
- LEE, C. N. et al. Placement of temperature probe in bovine vagina for continuous measurement of core-body temperature. **International Journal of Biometeorology**, v. 59, n. 9, p. 1201-1205, 2015. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0931-4>

- OLIVEIRA, C. C. D. et al. Vaginal temperature as indicative of thermoregulatory response in Nellore heifers under different microclimatic conditions. **PloS One**, v. 14, n. 10, p. e0223190, 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223190>
- OLIVEIRA, C. E. A. et al. Mapping of the Thermal Microenvironment for Dairy Cows in an Open Compost-Bedded Pack Barn System with Positive-Pressure Ventilation. **Animals**, v. 12, n. 16, p. 2055, 2022. <https://doi.org/10.3390/ani12162055>
- OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. et al. Wet and dry periods in the state of Alagoas (Northeast Brazil) via Standardized Precipitation Index. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 224, p. 105746, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2021.105746>
- PEIXOTO, M. S. M. et al. Thermoregulatory behavior of dairy cows submitted to bedding temperature variations in Compost barn systems. **Biological Rhythm Research**, v. 52, n. 7, p. 1120-1129, 2021. <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1616904>
- PENG, D. et al. Infrared thermography measured body surface temperature and its relationship with rectal temperature in dairy cows under different temperature-humidity indexes. **International Journal of Biometeorology**, v. 63, n. 3, p. 327-336, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-01666-x>
- PERETTI, S. et al. Thermoregulation and Performance of Dairy Cows Subjected to Different Evaporative Cooling Regimens, with or without Pepper Extract Supplementation. **Animals**, v. 12, n. 22, p. 3180, 2022. <https://doi.org/10.3390/ani12223180>
- R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>
- RAES, D.; MUNOZ, G. **The ETo Calculator**. Reference Manual Version, 3, 2009, p. 480.
- REID, E. D. et al. Correlation of rectal temperature and peripheral temperature from implantable radio-frequency microchips in Holstein steers challenged with lipopolysaccharide under thermoneutral and high ambient temperatures. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 13, p. 4788-4794, 2012. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4705>
- RIBEIRO, B. P. V. B. et al. Thermoneutral zone for laying hens based on environmental conditions, enthalpy and thermal comfort indexes. **Journal of Thermal Biology**, v. 93, p. 102678, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102678>
- SANTOS, S. G. C. G. et al. The use of simple physiological and environmental measures to estimate the latent heat transfer in crossbred Holstein cows. **International Journal of Biometeorology**, v. 61, p. 217-225, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1204-1>
- SARNIGHAUSEN, V. C. R. Estimation of thermal comfort indexes for production animals using multiple linear regression models. **Journal of Animal Behaviour and**

- Biometeorology**, v. 7, n. 2, p. 73-77, 2020. <http://dx.doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v7n2p73-77>
- SILVA, M. V. D. et al. Influence of meteorological elements on behavioral responses of gir cows and effects on milk quality. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 43, 2021. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v43i1.52604>
- SILVA, M. V. et al. Spatial modeling of rainfall patterns and groundwater on the coast of northeastern Brazil. **Urban Climate**, v. 38, p. 100911, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100911>
- SILVA, M. V. et al. Spatial modeling via geostatistics and infrared thermography of the skin temperature of dairy cows in a compost barn system in the Brazilian semiarid region. **Smart Agricultural Technology**, v. 3, p. 100078, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100078>
- SILVA, M. V. et al. Spatial variability and exploratory inference of abiotic factors in barn compost confinement for cattle in the semiarid. **Journal of Thermal Biology**, v. 94, p. 102782, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102782>
- SILVA, V. C. et al. Animal thermal comfort index for the state of Paraíba, Brazil: trend, influencing factors, and mitigating measures. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 147, p. 523-534, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03849-w>
- SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. The comparison of dendrograms by objective methods. **Taxon**, v. 11, n. 2, p. 33-40, 1962. <https://doi.org/10.2307/1217208>
- STACHOWICZ, J. et al. Can we detect patterns in behavioral time series of cows using cluster analysis?. **Journal of Dairy Science**, v. 105, n. 12, p. 9971-9981, 2022. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22140>
- THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, v. 12, n. 2, p. 57-61, 1959. <https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>
- TRESOLDI, G. et al. Sampling strategy and measurement device affect vaginal temperature outcomes in lactating dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 103, n. 6, p. 5414-5421, 2020. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16667>
- VASCONCELOS, A. M. et al. Adaptive profile of dairy cows in a tropical region. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, n. 1, p. 105-113, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01797-9>
- VERWOERD, W.; WELLBY, M.; BARRELL, G. Absence of a causal relationship between environmental and body temperature in dairy cows (*Bos taurus*) under moderate climatic



- conditions. **Journal of Thermal Biology**, v. 31, n. 7, p. 533-540, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2006.07.001>
- WANG, S. et al. Alterations in vaginal temperature during the estrous cycle in dairy cows detected by a new intravaginal device—a pilot study. **Tropical Animal Health and Production**, v. 52, n. 5, p. 2265-2271, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02199-5>
- WANG, X. et al. A predictive model of equivalent temperature index for dairy cattle (ETIC). **Journal of Thermal Biology**, v. 76, p. 165-170, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.07.013>
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of Soil Physics**, New York: Academic, 1980, v. 2, p. 319-344.
- WENZ, J. R.; MOORE, D. A.; KASIMANICKAM, R. Factors associated with the rectal temperature of Holstein dairy cows during the first 10 days in milk. **Journal of Dairy Science**, v. 94, n. 4, p. 1864-1872, 2011. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3924>
- WHITEHEAD, H. SOCPROG programs: analysing animal social structures. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 63, n. 5, p. 765-778, 2009. <https://doi.org/10.1007/s00265-008-0697-y>
- YAN, G. et al. Development and evaluation of thermal models for predicting skin temperature of dairy cattle. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 188, p. 106363, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106363>
- YAN, G. et al. Evaluation of thermal indices based on their relationships with some physiological responses of housed lactating cows under heat stress. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, n. 12, p. 2077-2091, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01999-6>

## 1. Considerações finais

Os resultados observados neste estudo contribuí diretamente para o pequeno produtor de leite do semiárido brasileiro, na gestão e manejo de instalações *compost barn* de forma precisa, eficiente e segura. Evidenciamos em nossos resultados, que o sistema *compost barn*, é um sistema novo, quando tratamos de sua implementação em regiões semiáridas, e que compreender a funcionalidade desse ambiente, das trocas de calor cama-ambiente, é fundamental para o melhor manejo e gestão dessas instalações, quando tratamos de produtores que pretendem aderir ao uso desses sistemas em sua propriedade de bovinos de leite.

No segundo capítulo trouxemos resultados que evidenciam as trocas de calor cama-ambiente em região semiárida. Em nossos achados observamos que há uma forte interação de trocas de calor por convecção da cama com o ambiente, no qual, práticas “convencionais” de manejo da cama dessas instalações para regiões de clima semiárido, não são eficientes para o acondicionamento térmico de forma pontual, com ênfase no bem-estar dos animais. Diante disso, é evidente que o revolvimento da cama duas vezes ao dia não é suficiente, sendo necessário revolver a cama mais de duas vezes ao dia.

O estabelecimento de um modelo matemático para a caracterização da temperatura vaginal de vacas leiteiras alojadas em sistemas *compost barn* para regiões de clima semiárido, é inédito, com resultados expressivos que auxiliarão os produtores na gestão de suas instalações, de forma eficiente e precisa, a um baixo custo. Nos achados desse estudo, os modelos matemáticos foram devidamente validados, a uma baixa taxa de erro, contribuindo de forma significativa para os produtores, possibilitando estimar o estado de conforto do animal de forma indireta e sem a necessidade de gastos com equipamentos e termômetros vaginais, reduzindo os custos com o monitoramento do estado de conforto dos animais.

Os resultados dessa pesquisa auxiliarão em estudos futuros na tentativa de calibrar os modelos estabelecidos neste estudo e potencializar a taxa de precisão no monitoramento do acondicionamento térmico de vacas leiteiras alojadas em sistema *compost barn* para regiões de clima semiárido. Os resultados apontados nesta pesquisa auxiliarão os produtores locais na gestão e tomada de decisão.