



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – CCA
CURSO DE ZOOTECNIA

FERNANDA CAMPOS CORREA

**DIAGNÓSTICO BIOCLIMÁTICO PARA A CRIAÇÃO DE ZEBUÍNOS NO
MUNICÍPIO DE IMPERATRIZ – MA**

SÃO LUÍS - MA
2025

FERNANDA CAMPOS CORREA

**DIAGNÓSTICO BIOCLIMÁTICO PARA A CRIAÇÃO DE ZEBUÍNOS NO
MUNICÍPIO DE IMPERATRIZ – MA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Zootecnia Bacharelado do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito para obtenção do título de Zootecnista.

Orientador: **Msc. Brendo Júnior Pereira Farias**
Coorientador: **Prof. Dr. Raimundo Calixto Martins Rodrigues**

SÃO LUÍS-MA

2025

FERNANDA CAMPOS CORREA

**DIAGNÓSTICO BIOCLIMÁTICO PARA A CRIAÇÃO DE ZEBUÍNOS NO
MUNICÍPIO DE IMPERATRIZ – MA**


Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Zootecnia Bacharelado do Centro de
Ciências Agrárias da Universidade Estadual do
Maranhão, como requisito para obtenção do título
de Zootecnista.

Orientador: **Msc. Brendo Júnior Pereira Farias**


Coorientador: **Prof. Dr. Raimundo Calixto Martins
Rodrigues**

Aprovado em: 17/12/2025


Banca:

Documento assinado digitalmente
 **BRENDO JUNIOR PEREIRA FARIAS**
Data: 26/12/2025 16:17:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Brendo Júnior Pereira Farias

Documento assinado digitalmente
 **ALLANE MADEIRA RODRIGUES**
Data: 26/12/2025 16:48:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Zootec. Allane Madeira Rodrigues

Documento assinado digitalmente
 **ALBERTINO ANTONIO DOS SANTOS**
Data: 27/12/2025 15:54:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Zootec. Albertino Antônio dos Santos

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de sabedoria e força, expresso minha mais profunda gratidão. Reconheço que sem sua presença eu não teria alcançado esta etapa da minha trajetória acadêmica. A ele agradeço por me fortalecer nos momentos de adversidade, por sustentar minha fé diante das incertezas e por iluminar meu caminho ao longo desta jornada.

À minha família, pelo constante apoio, dedicação e incentivo ao longo de toda a minha trajetória. Aos meus pais, Luís Corrêa e Claudia Campos, e aos meus irmãos, Pablo Campos e Claudenice Campos, manifesto minha mais sincera gratidão. Reconheço que, sem o suporte, a compreensão e a motivação de cada um, não seria possível alcançar este importante marco em minha vida acadêmica.

Ao meu orientador, Msc. Brendo Farias, e ao meu coorientador, Professor Raimundo Calixto, expresso minha sincera gratidão pela orientação, apoio e disponibilidade ao longo deste trabalho. Agradeço por terem aceitado este desafio comigo, compartilhando conhecimento, dedicação e conselhos que foram fundamentais para a realização desta pesquisa. Reconheço que os ensinamentos transmitidos fizeram toda a diferença em minha formação acadêmica e pessoal.

RESUMO

O objetivo deste estudo é avaliar as condições bioclimáticas do município de Imperatriz–MA, identificando os impactos das variáveis climáticas sobre o conforto térmico e o desempenho produtivo de bovinos zebuínos. Foram analisados dados meteorológicos no período de 1991 a 2021, obtidos a partir de modelos do Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo (ECMWF). A partir dessas informações, calcularam-se os índices de Temperatura e Umidade (ITU) e de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU), visando caracterizar o nível de estresse térmico em duas fases fisiológicas recém-nascidos e adultos. Os resultados mostraram que, durante a maior parte do ano, os valores de temperatura média e máxima superaram a zona de conforto térmico para bovinos, e os índices ITU e ITGU indicaram prevalência de estresse térmico moderado a severo, especialmente entre os meses de junho e novembro. Esses achados evidenciam que o ambiente climático de Imperatriz impõe desafios à manutenção do conforto térmico animal, sendo necessária a adoção de estratégias de manejo, como sombreamento, ventilação e disponibilidade constante de água, para minimizar os efeitos negativos do calor sobre o desempenho e o bem-estar dos rebanhos.

Palavras-chave: bioclimatologia; bovinocultura; conforto térmico; Imperatriz; Maranhão.

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the bioclimatic conditions of the municipality of Imperatriz–MA, identifying the impacts of climatic variables on the thermal comfort and productive performance of Zebu cattle. Meteorological data from 1991 to 2021 were analysed, obtained from models of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Based on this information, the Temperature and Humidity Index (THI) and Black Globe Temperature and Humidity Index (BGTHI) were calculated to characterise the level of thermal stress in two physiological phases: newborns and adults. The results showed that, during most of the year, the average and maximum temperature values exceeded the thermal comfort zone for cattle, and the ITU and ITGU indices indicated a prevalence of moderate to severe heat stress, especially between June and November. These findings show that the climatic environment of Imperatriz poses challenges to maintaining animal thermal comfort, requiring the adoption of management strategies such as shading, ventilation, and constant availability of water to minimise the negative effects of heat on herd performance and welfare.

Keywords: bioclimatology; cattle farming; Imperatriz; Maranhão; thermal comfort.

Lista de Tabelas

Tabela 1: Valores de conforto de temperatura, umidade relativa do ar e do índice de temperatura e umidade (itu) e de temperatura do globo e umidade (ITGU) em função do estágio de vida de zebuínos	17
Tabela 2: Dados climáticos e bioclimáticos mensais no intervalo de janeiro 1991 a dezembro de 2021 para o município de imperatriz- MA	18
Tabela 3: Diagnóstico bioclimático para bovinos recém-nascidos com as temperaturas médias, máximas e mínimas, umidade relativa, ITU e ITGU anual da série histórica.....	23
Tabela 4: Diagnóstico bioclimático para bovinos adultos com as temperaturas médias, máximas e mínimas, umidade relativa, ITU e ITGU anual da série histórica.....	26

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABIEC – Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes
AGED/MA -Agência Estadual de Defesa Agropecuária do Maranhão
ECMWF – Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo
GEE – Gases de Efeito Estufa
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ILP – Integração Lavoura-Pecuária
ILPF – Integração Lavoura-Pecuária-Floresta
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
ITGU – Índice de Temperatura de Globo e Umidade
ITU – Índice de Temperatura e Umidade
MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
TA – Temperatura do Ar
TAmáx – Temperatura Ambiente Máxima
TAméd – Temperatura Ambiente Média
TAmín – Temperatura Ambiente Mínima
TBS – Temperatura de Bulbo Seco
TGN – Temperatura de Globo Negro
TPO – Temperatura de Ponto de Orvalho
UR – Umidade Relativa do Ar
USDA – United States Department of Agriculture
ZCT – Zona de Conforto Térmico
ZTN – Zona de Termoneutralidade

SÚMARIO

Sumário

SUMÁRIO	8
1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVO	10
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
3.1 Bovinocultura no brasil.....	10
3.2 <i>Produções bovinocultura de corte no maranhão</i>	11
3.3 Interação do clima em bovinos.....	11
3.4 Estresse térmico em bovinos	12
3.5 Diagnóstico bioclimático	13
4 METODOLOGIA	13
4.1 Caracterização da área de estudo	14
4.2 Delineamento da pesquisa	14
4.3 Período e local de coleta dos dado	15
4.4 Variáveis analisadas	15
4.5 Cálculo dos índices de conforto térmico.....	15
4.6 Análise dos dados	16
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	17
5.1 Temperatura do ar (ta)	19
5.2 Umidade relativa (ur)	20
5.3 Índice de temperatura e umidade (itu)	21
5.4 Índice de temperatura de globo e umidade (itgu)	22
5.5 Bovinos recém-nascidos	22
5.6 Bovinos adultos.....	26
6 CONCLUSÃO	29
7 REFERÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, reconhecido como o segundo maior produtor e o maior exportador mundial de carne bovina, possuía, em 2023, um rebanho de 238,6 milhões de cabeças, número superior em 12,7% à população nacional estimada no mesmo ano, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024). A produção é majoritariamente realizada em sistemas extensivos, com predomínio de raças zebuínas (*Bos indicus*), especialmente o Nelore, que representa cerca de 90% dos bovinos de corte, de acordo com a Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes (ABIEC, 2016).

A pecuária bovina se constitui como a atividade rural que mais ocupa espaço no território nacional, sendo a principal atividade de metade dos estabelecimentos rurais do país de forma segmentada no seu perfil econômico e nas suas relações sociais e ambientais (ABIEC, 2023; IBGE, 2017).

Em relação às questões ambientais, a pecuária tem papel importante na garantia da sustentabilidade através da redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), bem como pela recuperação de pastagens degradadas e fomento aos sistemas de integração com uso de tecnologias para aumentar a produtividade das pastagens (Bungenstab *et al.*, 2019).

Segundo as Projeções do Agronegócio do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, as exportações brasileiras de carne bovina devem apresentar crescimento em torno de 30% na próxima década, impulsionadas pela expansão da demanda global e pela limitação do aumento da oferta em outros grandes países exportadores (Brasil, 2022).

Para enfrentar essa demanda, o Brasil necessita de um aumento de produtividade bovina e isso gera a necessidade de investimento em genética pois a composição racial de bovinos no país apresenta apenas 15% de Taurinos e seus cruzamentos de acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2021).

O Índice de Temperatura e Umidade (ITU), é um indicador determinante para entender o impacto das condições térmicas do ambiente na produtividade do gado, refletindo como a combinação de temperatura e umidade afeta o bem-estar e a eficiência produtiva dos bovinos, valores elevados de ITU podem indicar estresse térmico nos animais, o que geralmente resulta em uma diminuição na produção, pois os animais gastam mais energia tentando se resfriar (Kemer, Glienke & Bosco, 2020).

Alguns índices têm sido usados para medir o conforto ou o desconforto dos animais em relação às condições ambientais, entre eles o índice de temperatura e de umidade (ITU),

calculado com base na combinação de temperatura e de umidade, e o índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), calculado com base na umidade e na radiação recebida pelo animal (Silva, 2000).

Segundo Buffington *et al.* (1981), considerando as limitações do ITU, como a ausência no seu cálculo de fatores ambientais importantes como a radiação solar, propuseram uma modificação no ITU, que denominaram Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU), fornecendo um índice adimensional, considerado por Ablas (2002) como o mais representativo do estresse térmico em áreas abertas, sob radiação solar direta (global) e indireta (difusa).

Segundo Buffington *et al.* (1981) e Silva (2000), o ITGU é o mais preciso para prever o bem-estar térmico em regiões tropicais, pois, em seu cálculo, incorpora a umidade através do ponto de orvalho, a temperatura de bulbo seco e a radiação solar em um único valor.

Nesse sentido, os sistemas de produção devem propiciar condições adequadas de criação, visando a aperfeiçoar a produção e a atender a essas demandas de mercado (Martins, 2001).

2 OBJETIVO

Avaliar as condições bioclimáticas e os dados meteorológicos da região de Imperatriz - MA para identificar os impactos das variáveis climáticas, no bem-estar e no desempenho produtivo de zebuínos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Bovinocultura no Brasil

A bovinocultura brasileira tem se deslocado progressivamente de um modelo extensivo tradicional para sistemas de produção mais sustentáveis e intensivos, apoiados por inovações como melhoramento genético, nutrição animal, manejo de pastagens e pela adoção de sistemas integrados como Integração Lavoura-Pecuária (ILP) ou Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) de acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2024). Segundo Pereira *et al.* (2024), o caminho para uma pecuária de corte mais sustentável no Brasil envolve não apenas o uso racional dos recursos naturais, mas também políticas públicas que incentivem a inclusão produtiva de pequenos e médios pecuaristas.

Diante de cenários ambientais adversos, práticas como sombreamento (natural ou artificial), suplementação alimentar, melhoramento genético e investimentos em conforto térmico emergem como imprescindíveis para assegurar eficiência produtiva, bem-estar animal e competitividade nos mercados globais (Novelli, 2023). Para Baêta e Souza (2010), a produção bovina em regiões tropicais exige estratégias que considerem as limitações ambientais, pois os animais estão constantemente expostos às adversidades do clima.

Além disso, a adoção de práticas como irrigação de pastagens, suplementação nutricional estratégica e monitoramento remoto, bem como outras tecnologias sustentáveis, têm contribuído para aumentar a eficiência dos sistemas de produção bovina no Brasil. Essas medidas são essenciais para enfrentar desafios como as mudanças climáticas, a escassez de recursos naturais e a crescente demanda por alimentos, assegurando a viabilidade econômica, ambiental e social da pecuária nacional (Bones *et al.* 2023).

3.2 Produções bovinocultura de corte no maranhão

O território maranhense é conhecido por possuir diversidade de riquezas naturais e ambientais, e quando associado com a conformidade de biomas presentes em suas terras, tornam-se uma ferramenta promissora para a economia no qual possibilita a utilização de maneira eficiente, de tal maneira apresentando grandes alternativas provenientes da junção desses fatores, tais como a exploração dos recursos de origem animal, vegetal e mineral. Na pecuária, destaca-se a criação de rebanhos, bovinos, suínos, aves, caprinos e ovinos (Araújo, 2019).

De acordo com Oliveira Filho (2015), os sistemas produtivos maranhenses são fortemente influenciados pelas condições climáticas. Variações no regime de chuvas e nas temperaturas impactam diretamente a disponibilidade de forragem, o ganho de peso dos animais e, conseqüentemente, a eficiência produtiva.

Nesse cenário estadual, destaca-se o município de Imperatriz, que figura entre os principais polos de produção pecuária do Maranhão. Segundo dados da Agência Estadual de Defesa Agropecuária (AGED/MA), a unidade regional de Imperatriz apresentou, em 2023, a regional de Imperatriz apresentava um efetivo bovino de aproximadamente 1.443.701 cabeças, com índice demográfico de 64,04 cabeças/km². (Silva *et al.* 2023).

3.3 Interação do clima em bovinos

Estudos recentes confirmam que condições ambientais extremas afetam diretamente a fisiologia dos bovinos, impactando consumo alimentar, desempenho produtivo e saúde. Em sistemas de produção no bioma amazônico, o uso de sistemas silvipastoris tem mostrado melhorar o conforto térmico de bovinos nelore, reduzindo os efeitos negativos do calor em comparação com sistemas convencionais (Da silva *et al.* 2024).

Segundo Almeida *et al.* (2011) e Ahirwa *et al.* (2018), as variáveis ambientais influenciam diretamente na regulação térmica dos animais, e possivelmente afetam o desenvolvimento corporal, a reprodução e a resistência a doenças. Dessa forma, minimizar os efeitos do clima sobre os animais, que é um dos principais problemas relacionados ao distresse em regiões tropicais, tem sido uma preocupação constante no sentido de diminuir a ação negativa das variáveis climáticas, que são consideradas responsáveis pelo desconforto térmico animal (Pezzopane *et al.* 2019).

Embora os bovinos possam se adaptar a diferentes temperaturas ambientais, os mecanismos de resposta que garantem sua sobrevivência também prejudicam seu desempenho, pois a energia que seria direcionada para a produção é redirecionada para a ativação de mecanismos termorregulatórios que atuarão no equilíbrio metabólico dos animais, causando alterações como diminuição na ingestão de alimentos e consequente diminuição de ganho de peso (Pragna *et al.* 2017; Baena *et al.* 2019).

3.4 Estresse térmico em bovinos

A maior parte do rebanho bovino brasileira se encontra em região tropical, com temperaturas médias acima da zona de termoneutralidade, permanecendo longos períodos sobre estresse calórico (Fialho *et al.* 2018; Pires; Campos, 2008). Com o gado produzido a campo, estes animais estão mais expostos ao ambiente, tendo efeitos diretos da variação de temperatura corporal e indiretos como a redução da qualidade nutricional devido a disponibilidade de forragens, ambos afetando o bem-estar animal e o desempenho do potencial genético dos animais (Fedegan, 2013).

Em raças de corte adaptadas ao clima tropical, como a Caracu, verificou-se que a exposição prolongada ao calor provoca aumento da temperatura retal e superficial, além de alterações hormonais, como a elevação de cortisol, e mudanças hematológicas (Santos *et al.* 2022).

Durante períodos de calor intenso, o organismo dos animais libera uma série de hormônios, como a adrenalina e o cortisol, como parte de sua resposta ao estresse. Esses

hormônios desempenham um papel crucial na regulação do metabolismo e na mobilização de energia, auxiliando na adaptação às condições ambientais desfavoráveis. O prolongamento levar a desequilíbrios hormonais prejudiciais, afetando negativamente a saúde e o desempenho dos animais a longo prazo (Dian *et al.* 2020).

Os sinais de que o animal está em estresse térmico são visíveis, e o primeiro sintoma aparente é o aumento da frequência respiratória com o objetivo de diminuir o calor interno, quando os animais sofrem estresse por calor, ocorre a termólise que faz parte da termorregulação proporcionando a perda de calor. O calor vai sendo transferido do meio interno para o meio externo (Baccari Jr, 2001).

3.5 Diagnóstico bioclimático

O diagnóstico bioclimático constitui ferramenta fundamental para avaliar a adequação ambiental às exigências térmicas dos bovinos. Essa abordagem permite identificar períodos críticos de desconforto térmico e orientar práticas de manejo para promover o bem-estar animal. Índices bioclimáticos como ITU e ITGU são comumente empregados para avaliar o conforto térmico animal e estimar a carga de calor a que os animais estão expostos, relacionados a variáveis fisiológicas e comportamentais (Santos & Cabral, 2021).

Uma desvantagem do uso do ITGU para se fazer o diagnóstico bioclimático de uma determinada região é a inexistência de medições da temperatura de globo negro nas estações meteorológicas distribuídas ao longo do país (Abreu *et al.* 2011), não sendo fácil de utilizar a nível de produtor (Rocha, 2008). Dessa forma, o ITU se destaca por apresentar como método mais simples e acessível na tentativa de caracterizar o ambiente térmico, por considerar apenas os valores de temperatura e umidade relativa do ar, obtidas facilmente nas estações meteorológicas (Silanikove, 2000).

Para um melhor desempenho do animal é necessário que se dê importância ao clima, em que estes se encontram, tendo em vista que os elementos climáticos influenciam diretamente na produção animal (Souza *et al.* 2013). Em climas tropicais e subtropicais os valores de temperatura e umidade relativa do ar são restritivos ao desenvolvimento, à produção e à reprodução dos animais (Oliveira *et al.* 2005).

4 METODOLOGIA

4.1 Caracterização da área de estudo

Imperatriz é um município brasileiro localizado no estado do Maranhão, na Região Nordeste, ocupando uma posição geograficamente estratégica na margem direita do rio Tocantins e na divisa com o estado do Tocantins, a cerca de 629–630 km da capital São Luís (Prefeitura Municipal de Imperatriz, 2025; Relatório Municipal, 2024). Com uma área territorial de aproximadamente 1.369,04 km², o município é o segundo mais populoso do estado, com população de 273.110 habitantes segundo o Censo de 2022 e estimativa de 285.806 habitantes em 2025 (IBGE, 2025). Caracteriza-se como um centro urbano de grande relevância demográfica e econômica na região sudoeste maranhense. Imperatriz destaca-se como um importante entroncamento logístico e econômico, integrando atividades de comércio, serviços, agricultura e extrativismo, além de contar com infraestrutura de transportes que inclui a BR-010 (Belém-Brasília), a Ferrovia Norte-Sul e acesso fluvial pelo rio Tocantins, fatores que impulsionam sua função de polo regional (Prefeitura Municipal de Imperatriz, 2025). Economicamente, o município possui um dos maiores Produtos Internos Brutos (PIB) do Maranhão, ficando atrás apenas da capital estadual, São Luís, o que lhe confere influência significativa sobre municípios vizinhos e regiões adjacentes (IBGE, 2025; Prefeitura Municipal de Imperatriz, 2025). Ambientalmente, a área apresenta clima tropical subúmido e uma diversidade ecológica associada à proximidade com áreas de transição entre biomas, o que confere potencial tanto para uso produtivo quanto para atividades recreativas (Relatório Municipal, 2024). Essa combinação de atributos demográficos, econômicos, geográficos e ambientais consolida Imperatriz como um importante polo regional no contexto do Maranhão e do território brasileiro.

4.2 Delineamento da pesquisa

Para a criar o diagnóstico bioclimático foram avaliados valores correspondentes à Zona de Conforto Térmico (ZCT) para bovinos, comparados com as variáveis climáticas de temperatura mínima do ar (TAmín) temperatura média do ar (TAméd), máxima (TAmáx) e umidade relativa do ar média (UR, %), no período de 1991 a 2021 do município de Imperatriz-MA. Os dados climáticos foram obtidos a partir de modelos climáticos do Centro Europeu de Previsões Meteorológicas a Médio Prazo (ECMWF), disponíveis na plataforma Climate Data, uma vez que o município não possui estação meteorológica convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

4.3 Período e local de coleta dos dados

Os dados utilizados neste estudo foram coletados no município de Imperatriz – MA, durante o período de 1991 a 2021. As informações climáticas foram obtidas por meio de registros meteorológicos, incluindo temperatura do ar, umidade relativa e demais variáveis necessárias para o cálculo dos índices de conforto térmico analisados.

4.4 Variáveis analisadas

As variáveis analisadas neste estudo incluíram a temperatura do ar, a umidade relativa, bem como os índices de conforto térmico Índice de Temperatura e Umidade (ITU) e Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU). Para avaliar a influência das condições climáticas combinadas, foram utilizados o índice de temperatura e umidade (ITU) (Thom, 1959) e o índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) (Buffington, 1981). A partir do cálculo desses dois índices, foi possível simular os efeitos das variáveis ambientais em sistemas extensivo, semi-intensivo e intensivo. Como o ITU não considera a influência da radiação e convecção, ele é mais indicado para avaliações em instalações de confinamento. Já o ITGU foi utilizado para avaliar o nível de estresse térmico em animais expostos diretamente à radiação solar e ao vento.

4.5 Cálculo dos índices de conforto térmico

O Índice de Temperatura e Umidade (ITU) foi calculado conforme a equação proposta por Thom (1959), apresentada na Equação (1).

Equação (1):

$$ITU = (0,8 \times TA + (UR/100) \times (TA - 14,4) + 46,4)$$

Onde:

TA= Temperatura do ar

UR= Umidade relativa do ar

Para o cálculo do Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU), foi utilizada a equação proposta por Buffington (1981), conforme apresentada na Equação (2).

Equação (2):

$$ITGU = TGN + 0,36 TPO + 41,5$$

Onde:

TGN = Temperatura de Globo Negro

TPO = Temperatura de Ponto de Orvalho

A temperatura de orvalho (TPO) é a temperatura que o ar precisa para que o vapor de água contido nele comece a se transformar em líquido, pode ser estimada a partir da equação de Magnus-Tetens, conforme apresentada na Equação (3) (Tetens, 1930).

Equação (3):

$$TPO = (237,7 * y) / (17,27 - y)$$

onde:

$$y = \ln(UR/100) + ((17,7 * TA) / (237,7 + TA))$$

Onde:

TPO= temperatura do ponto de orvalho (°C)

Y= fator de ajuste, calculado a partir da relação entre a temperatura do ar e umidade

TA= temperatura do ar (°C)

UR= umidade relativa do ar (%)

A Temperatura de Globo Negro (TGN) representa a temperatura resultante da combinação entre a temperatura do ar, o calor radiante e a velocidade do ar. Essa variável é medida por meio do termômetro de globo negro, um equipamento constituído por um termômetro posicionado no centro de uma esfera oca de cobre, com superfície preta fosca. Entretanto, no presente estudo, não foi identificada nenhuma plataforma que disponibilizasse dados de TGN referentes ao período de 1991 a 2021 para a cidade de Imperatriz - MA. Diante disso, optou-se pelo uso de modelos matemáticos para estimar a TGN, dispensando o uso do equipamento físico. Abreu *et al.* (2011) desenvolveram uma equação que permite estimar a TGN a partir da Temperatura de Bulbo Seco (TBS), sem a necessidade do termômetro de globo negro, conforme apresentado na Equação (4):

Equação (4):

$$TGN = -0,9387 + 0,8562 \times TBS + 0,0162 \times TBS^2$$

4.6 Análise dos dados

A avaliação das condições bioclimáticas foi realizada a partir da comparação entre os dados climáticos observados e os valores de referência de conforto térmico para zebuínos,

específicos para recém-nascidos e adultos. Esses limites, que incluem temperatura do ar, umidade relativa, ITU e ITGU, estão apresentados na Tabela 1 e serviram de base para a classificação das condições ambientais ao longo do ano.

Tabela 1: Valores de conforto de temperatura, umidade relativa do ar e do índice de temperatura e umidade (itu) e de temperatura do globo e umidade (ITGU) em função do estágio de vida de zebuínos

Estágio de vida	TA (°C)	UR (%)	ITU	ITGU
Recém-nascido	18,0 – 21,0	60,0 – 70,0	62,9 – 67,8	64,9 – 71,0
Adulto	10,0 – 27,0	60,0 – 70,0	68,4 – 76,8	51,8 – 81,5

Fonte: Adaptado de Baêta & Souza (2010) e Silva *et al.* (2013).

Para comparar as exigências térmicas dos bovinos com os valores climáticos, ITU e ITGU, foi adotada a seguinte simbologia adaptando a metodologia proposta por Silva *et al* (2021): I para valores inferiores aos exigidos, C para condição de conforto e S para valores superiores aos exigidos pelos animais. A repetição da letra minúscula indica a situação térmica em relação à temperatura mínima do ar (TAmín, °C). A letra maiúscula é utilizada para indicar a situação térmica em relação à temperatura média do ar (TAméd, °C), enquanto a letra minúscula representa a situação térmica em relação à temperatura máxima do ar (TAmáx, °C), e a repetição de letras maiúsculas refere-se à situação térmica em relação à umidade relativa do ar (UR). Já a combinação de letras maiúsculas e minúsculas indica a situação térmica em relação ao ITU, e essa mesma combinação seguida de um asterisco (*) representa a situação térmica em relação ao ITGU.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A diferença entre a precipitação do mês mais seco e do mês mais chuvoso é de aproximadamente 247 mm, considerando o valor mínimo registrado em agosto (3 mm) e o máximo em fevereiro (250 mm) (Tabela 2). Valores de TA, ao longo do ano, variam cerca de 3,9°C, com a menor média observada em fevereiro (25,4°C) e a maior em setembro (29,3°C).

A UR em Imperatriz apresenta ampla variação anual, alcançando os maiores valores em março (85%) e os menores em agosto (47%). Essa oscilação evidencia o desafio para a manutenção do conforto térmico dos animais durante as diferentes estações do ano, devido às flutuações climáticas locais.

Em relação à frequência de chuvas, observa-se que o menor número de dias chuvosos

ocorre em agosto, enquanto o maior é registrado em março, o que demonstra uma marcante sazonalidade no regime pluviométrico da região.

Tabela 2: Dados climáticos e bioclimáticos mensais no intervalo de janeiro 1991 a dezembro de 2021 para o município de imperatriz- MA

Meses	TAmín (°C)	TAméd (°C)	TAmáx (°C)	UR (%)	ITU	ITGU
Jan	23,0	25,7	29,3	84	76,45	80,92
Fev	22,9	25,4	29,2	85	76,07	80,42
Mar	22,9	25,5	29,1	85	76,23	80,61
Abr	23,0	25,7	29,0	85	76,56	80,99
Mai	23,0	26,2	30,1	80	76,80	81,60
Jun	22,9	27,1	31,9	65	76,33	82,13
Jul	23,1	27,9	33,1	53	75,87	82,52
Ago	23,6	28,8	34,3	47	76,20	83,61
Set	24,5	29,3	34,6	52	77,58	85,18
Out	24,8	28,9	33,6	61	78,36	85,31
Nov	24,3	27,7	31,8	72	78,13	83,91
Dez	23,6	26,6	30,3	79	72,54	76,57

Fonte: Climate data, 2025

5.1 Temperatura do Ar (TA)

Na Figura 1, visualiza-se a distribuição das temperaturas distribuídas ao longo do ano.

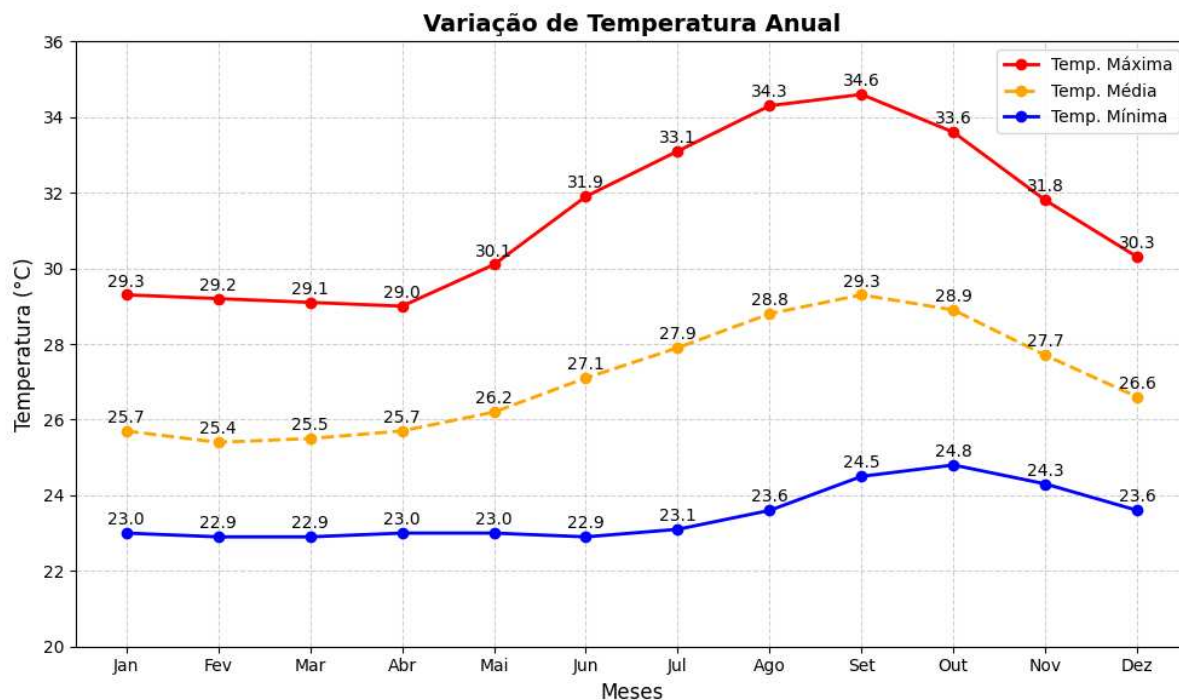


Figura 1: Distribuição da temperatura do ar ao longo do ano

Fonte: Autor (2025)

Os valores de TAMín, embora mais amenos (22,9°C a 24,8°C na maioria dos meses), estão frequentemente acima do limite mínimo ideal de conforto para recém-nascidos (18–21°C) e dentro ou pouco acima para adultos (10–27°C), o que mostra que mesmo nas madrugadas não há um alívio térmico suficiente em muitos meses.

Temperaturas acima da ZCT (18–21 °C) exigem que bezerros ativem mecanismos fisiológicos para dissipar o calor, o que pode resultar em redução do consumo alimentar e comprometimento do desempenho produtivo (Baêta & Souza, 2010, Silva *et al.*, 2013).

Os dados mostram que a TAMéd variou entre 25,4°C (fevereiro) e 28,9°C (setembro e outubro). Observa-se que durante praticamente todo o ano, a temperatura média está acima da faixa ideal de conforto para bovinos adultos (10°C a 27°C). Isso indica uma condição de possível estresse térmico leve a moderado, principalmente nos meses mais quentes (junho a novembro). Segundo Ferreira (2005), a zona termo neutra (ZTN) para zebuínos, está na faixa de 10 a 27°C, sendo o limite crítico superior de 35°C (Baêta; Souza, 2010) com umidade relativa do ar entre 50 a 70%. Além disso, segundo Barbosa *et al.* (2014), ultrapassar esse limiar pode

significar maior gasto energético para manutenção da homeotermia, o que corrobora a ideia de que nossas médias mensais estão em zona de estresse térmico leve a moderado.

Além disso, os valores de $T_{Am\acute{a}x}$ são elevados, chegando a $34,6^{\circ}C$ em setembro e mantendo-se acima de $30^{\circ}C$ na maior parte dos meses. Esse comportamento intensifica a condição de desconforto térmico, pois excede muito o limite superior de conforto.

5.2 Umidade Relativa (UR)

Houve variação significativa dos valores de UR ao longo do ano, oscilando entre 47% (agosto) e 85% (fevereiro, março e abril) (Figura 2). A faixa frequentemente citada para conforto térmico de bovinos situa-se em torno de 60–70% (Baêta; Souza, 2010).

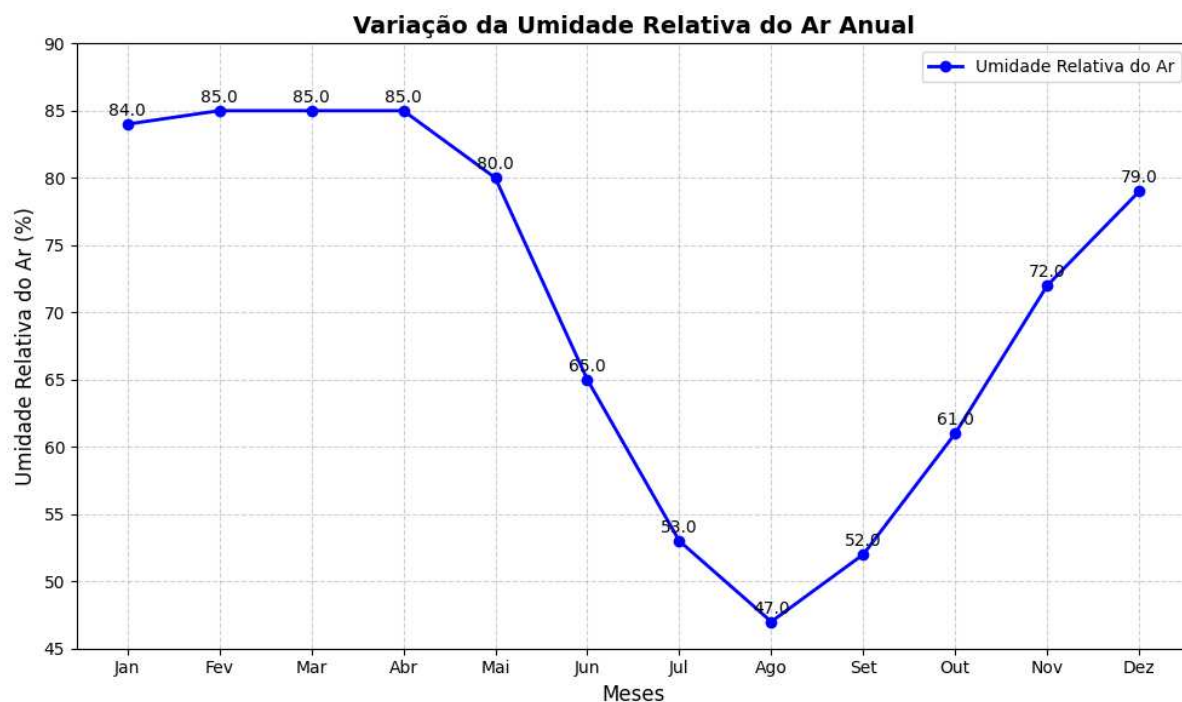


Figura 2: Distribuição da umidade relativa do ar ao longo do ano

Fonte: Autor (2025)

Nos meses de janeiro a abril, a UR manteve-se consistentemente acima desse limite superior, atingindo valores de 84% a 85%. Altos níveis de umidade prejudicam a perda de calor por evaporação e elevam a carga térmica sobre os animais, o que pode levar à elevação da frequência respiratória e à diminuição do consumo alimentar (Jo *et al.*, 2025). Valores elevados de TA e UR aumentam significativamente o risco de estresse térmico em bovinos, uma vez que dificultam a perda de calor corporal e comprometem o conforto térmico dos animais (Silva *et*

al, 2023). No entanto, nos meses de junho a setembro, os valores de UR situaram-se abaixo da faixa considerada confortável, chegando a 47 % em agosto. Ambientes com UR muito baixa favorecem a perda de água corporal e o ressecamento das vias respiratórias, o que pode comprometer o bem-estar animal. Esse efeito adverso contribui para maior risco de desidratação e comprometimento da homeostase térmica.

Portanto, tanto altos valores quanto baixos valores de UR representam desafios termorregulatórios para bovinos, devendo ser considerados nas estratégias de manejo visando mitigar o estresse térmico.

5.3 Índice de temperatura e umidade (ITU)

Observa-se que os valores de ITU (Figura 3) variaram entre 72,54 (dezembro) e 78,36 (outubro) indicando que embora o ambiente se mantenha predominante dentro do limite aceitável há momentos de desconforto térmico ao longo do ano.

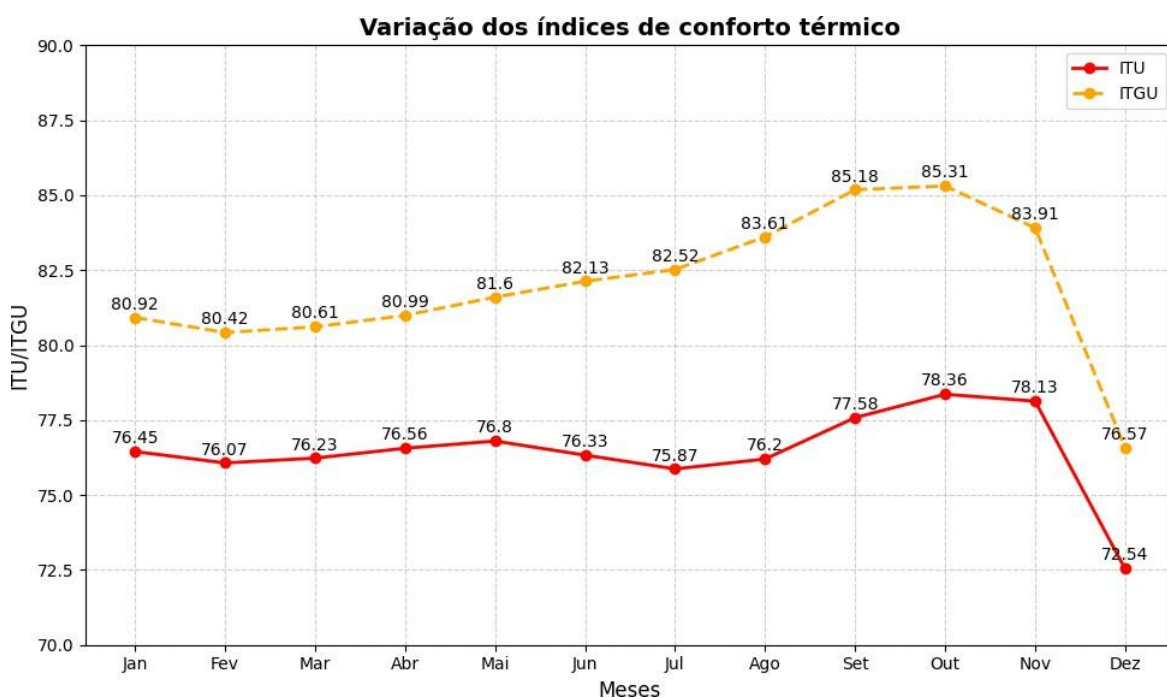


Figura 3: Distribuição dos valores de ITU e ITGU ao longo do ano

Fonte: Autor (2025)

Considerando que o ITU ideal para bovinos adultos varia de 68,4 a 76,8, percebe-se que, na maioria dos meses, o ITU fica próximo ou ultrapassa esse limite, indicando estresse térmico moderado a severo, principalmente nos meses de setembro, outubro e novembro.

O estresse térmico é um fator de grande importância para os bovinos, pois provoca

alterações fisiológicas e comportamentais que visam dissipar calor, mas resultam em redução da ingestão alimentar e, conseqüentemente, em menor desempenho produtivo (Graczcki *et al.*, 2022).

Os valores de pico do ITU são ainda mais preocupantes, nos últimos meses do ano, chegando a 78,36 em outubro e 78,13 em novembro, valores acima dos limites de conforto, representando risco severo de estresse térmico para os animais.

Os menores valores do ITU fica próximo aos limites inferiores, principalmente nos meses de julho e dezembro (75,87 e 72,54, respectivamente), indicando que há algum alívio térmico nas madrugadas desses meses, mas ainda dentro de uma faixa que exige atenção

5.4 Índice de temperatura de globo e umidade (ITGU)

Valores mais altos de ITGU foram encontrados quando comparado com o ITU (Figura 3), isso se justifica pelo fato que o ITGU avalia não apenas a influência da umidade, mas também a incidência de radiação solar direta e o movimento do ar, fatores que são determinantes para a dissipação de calor por convecção e radiação.

No presente trabalho o ITGU oscilou entre 76,57 (dezembro) e 85,31(outubro) o que significa que em quase todos os meses o índice ultrapassou o limite superior de conforto. Esse comportamento é evidente nos meses de junho a novembro quando os valores ficaram constantemente acima de 82 sugerindo condições ambientais de sobrecarga térmica.

Valores semelhantes foram constatados por Titto (2006), que avaliou o efeito do ITGU sob sombra natural, sombra artificial e sem disponibilidade de sombra sobre o comportamento de touros da raça Simental a pasto, foi identificado maiores valores de ITGU a partir das 12 horas e, em todos os tratamentos, caracterizou-se condição de “emergência”, segundo a classificação do National Weather Service - USA.

Segundo Fernandes (2005) valores de ITGU maiores que 81 já se caracterizam estresse térmico, a partir desses valores, os animais tem uma redução de 22% do consumo de matéria seca total quando comparado aos animais que um ambiente proporciona um conforto de ITGU de 65.

5.5 Bovinos recém-nascidos

A Tabela 3 apresenta o diagnóstico bioclimático anual para bovinos recém-nascidos, com base nas temperaturas mínima, média e máxima, umidade relativa, Índice de Temperatura Umidade (ITU) e Índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), ao longo da série histórica. Os dados foram classificados em categorias de risco bioclimático, considerando os limites de conforto térmico para neonatos.

Tabela 3: Diagnóstico bioclimático para bovinos recém-nascidos com as temperaturas médias, máximas e mínimas, umidade relativa, ITU e ITGU anual da série histórica.

Meses	Mínima	Médias	Máximas	Umidade	ITU	ITGU
Jan	ss	S	S	SS	Cc	Ss*
Fev	ss	S	S	SS	Cc	Ss*
Mar	ss	S	S	SS	Cc	Ss*
Abr	ss	S	S	SS	Cc	Ss*
Mai	ss	S	S	SS	Cc	Ss*
Jun	ss	S	S	CC	Ss	Ss*
Jul	ss	S	S	II	Cc	Ss*
Ago	ss	S	S	II	Cc	Ss*
Set	ss	S	S	II	Ss	Ss*
Out	ss	S	S	CC	Ss	Ss*
Nov	ss	S	S	SS	Ss	Ss*
Dez	ss	S	S	SS	Cc	Ss*

Fonte: Autor (2025)

Onde:

I / i – valores inferiores à zona de conforto térmico;

C / c – condição de conforto térmico;

S / s – valores superiores à zona de conforto térmico.

Verifica-se que, ao longo de todo o ano, as temperaturas mínimas, médias e máximas mantiveram-se predominantemente acima da ZCT, com classificações “S” e “s”, indicando exposição persistente ao estresse térmico por calor. Essas condições acarretam dificuldades na dissipação de calor e comprometem a homeostase térmica dos neonatos, especialmente em ambientes com baixa ventilação e alta radiação solar.

Os resultados obtidos para bovinos recém-nascidos evidenciam que as condições ambientais do município de Imperatriz-MA permanecem fora da zona de conforto térmico durante grande parte do ano, sobretudo em função das elevadas temperaturas e da radiação solar. Segundo Baêta e Souza (2010), bezerros apresentam menor capacidade de

termorregulação, o que os torna mais sensíveis às variações climáticas, especialmente ao calor excessivo.

Segundo Neves *et al.* (2025) o estresse térmico em bezerros neonatais provoca alterações fisiológicas, como aumento da frequência respiratória e redução da eficiência digestiva, mesmo quando os índices bioclimáticos indicam estresse moderado.

No estudo, embora o ITU tenha indicado condições predominantemente moderadas em alguns meses, o ITGU permaneceu acima dos limites de conforto durante todo o ano, o que confirma a importância da radiação solar na intensificação do estresse térmico. De acordo com Buffington *et al.* (1981) e Silva (2000), o ITGU é mais sensível para avaliar o desconforto térmico em ambientes tropicais, reforçando que o uso isolado do ITU pode subestimar o impacto do calor sobre bezerros recém-nascidos.

Segundo Van *et al.* (2024) evidenciam que bezerros submetidos a valores elevados de ITU apresentam respostas fisiológicas de desconforto, como aumento da frequência respiratória e redução na ingestão de alimentos, mesmo em condições moderadas. De forma semelhante, Neves *et al.* (2025) relatam que o estresse térmico reduz o desempenho e a digestibilidade em bezerros expostos a calor intenso.

Por outro lado, as temperaturas mínimas foram classificadas como “ss” na maioria dos meses, indicando que frequentemente estiveram abaixo dos níveis ideais de conforto. Essa condição demonstra que mesmo durante os períodos noturnos, quando se espera maior alívio térmico, os animais ainda permanecem sob estresse, o que pode comprometer a recuperação fisiológica e aumentar a vulnerabilidade dos neonatos.

Em relação à umidade relativa do ar, os dados apresentaram alternância entre classificações “SS” (acima do ideal) e “CC” (confortável), com destaque para julho, agosto e setembro classificados como “II”, revelando que a umidade esteve abaixo do ideal nesse período. Umidade elevada pode agravar os efeitos do calor por dificultar a dissipação térmica via evaporação, enquanto valores muito baixos favorecem o ressecamento das vias respiratórias e maior perda de água corporal. Conforme Reuscher *et al.* (2024) demonstraram que condições de ventilação inadequada em bezerros alojados em abrigos externos potencializam os efeitos do calor, reduzindo o bem-estar animal.

Já o ITU permaneceu classificado com “Cc” ao longo dos meses com ressalva para os meses de junho, setembro, outubro e novembro classificados “Ss” sugerindo que a combinação de temperatura e umidade se manteve dentro de limites considerados moderados para neonatos. Entretanto, Van Os *et al.* (2024) destacam que mesmo valores de ITU próximos a 65–69 já podem desencadear respostas de estresse leve em bezerros pré-desmame.

Em contrapartida o ITGU apresentou valores superiores ao limite de conforto térmico durante todos os meses sendo classificados com “Ss” demonstrando que o ambiente esteve fora da faixa ideal para o bem-estar destes animais.

Diante disso, observa-se que, embora o ITU (Índice de Temperatura e Umidade) não tenha indicado estresse severo em todos os meses, as temperaturas máximas e mínimas frequentemente extrapolaram os limites fisiológicos ideais para bezerros neonatos. Isso é confirmado com evidências da literatura: Neves *et al.* (2025) relatam aumento da frequência respiratória e da temperatura retal em bezerros sob estresse térmico mesmo quando o ganho de peso se mantém normal. Além disso Wang (2020) menciona que os bezerros têm uma “zona termoneutra” entre 13 a 25 °C, sendo que acima disso podem ocorrer adaptações fisiológicas que comprometem a eficiência digestiva.

Diante das condições de estresse térmico observadas para bovinos recém-nascidos ao longo do ano, torna-se fundamental a adoção de estratégias de manejo que reduzam a carga térmica incidente sobre os animais. A instalação de abrigos bem ventilados e protegidos da radiação solar direta, vento e chuvas contribui para a criação de um microclima mais ameno, favorecendo a dissipação de calor e o conforto térmico dos neonatos (Becker *et al.*, 2020). O uso de sombra natural ou artificial configura-se como uma medida simples e eficaz, uma vez que animais mantidos sob sombreamento apresentam menores frequências respiratórias e temperaturas corporais em condições de calor excessivo (Edwards-Callaway *et al.*, 2020).

Além do ambiente físico, o manejo nutricional e sanitário assume papel essencial nessa fase. O fornecimento adequado de colostro nas primeiras horas de vida, aliado a uma dieta balanceada, favorece o desenvolvimento imunológico e metabólico dos bezerros, reduzindo os impactos negativos do estresse térmico sobre a absorção de imunoglobulinas e a imunocompetência (Dahl *et al.*, 2020). A garantia de acesso constante à água limpa e fresca também é indispensável, mesmo em sistemas de aleitamento, para compensar as perdas hídricas decorrentes da sudorese e da respiração intensificada em ambientes quentes (Becker *et al.*, 2020).

Adicionalmente, o monitoramento frequente do comportamento e de sinais clínicos de estresse, como aumento da frequência respiratória, agitação ou busca por sombra, permite intervenções rápidas e eficazes. O acompanhamento sistemático de índices bioclimáticos, como o ITU, auxilia na tomada de decisão diária quanto à adoção de medidas mitigadoras, ajustando o manejo conforme as condições ambientais (Oliveira *et al.*, 2025).

5.6 Bovinos adultos

A Tabela 4 apresenta o diagnóstico bioclimático anual para bovinos adultos, com base na análise das temperaturas médias, máximas e mínimas do ar, umidade relativa do ar, índice de temperatura e umidade (ITU) e índice de temperatura de globo e umidade (ITGU).

Tabela 4: Diagnóstico bioclimático para bovinos adultos com as temperaturas médias, máximas e mínimas, umidade relativa, ITU e ITGU anual da série histórica.

Meses	Mínima	Médias	Máximas	Umidade	ITU	ITGU
Jan	Cc	C	s	SS	Cc	Cc*
Fev	Cc	C	s	SS	Cc	Cc*
Mar	Cc	C	s	SS	Cc	Cc*
Abr	Cc	C	s	SS	Cc	Cc*
Mai	Cc	S	s	SS	Cc	Ss*
Jun	Cc	S	s	CC	Ss	Ss*
Jul	Cc	S	s	CC	Cc	Ss*
Ago	Cc	S	s	II	Cc	Ss*
Set	Cc	S	s	CC	Ss	Ss*
Out	Cc	S	s	CC	Ss	Ss*
Nov	Cc	S	s	CC	Ss	Ss*
Dez	Cc	S	s	SS	Cc	Cc*

Fonte: Autor (2025)

Onde:

I / i – valores inferiores à zona de conforto térmico;

C / c – condição de conforto térmico;

S / s – valores superiores à zona de conforto térmico.

Observa-se que as temperaturas médias se mantiveram dentro da zona de conforto térmico (classificação “C”) entre os meses de janeiro a abril. No entanto, nos meses de maio a dezembro, essas temperaturas excederam o limite superior (“S”), indicando um cenário de estresse térmico por calor. Embora bovinos adultos apresentem maior resistência ao calor do que os neonatos, a exposição prolongada a temperaturas elevadas pode comprometer a eficiência produtiva, especialmente em sistemas intensivos (Bernabucci *et al*, 2024).

Para bovinos adultos, os resultados demonstram que, embora esses animais apresentem maior tolerância ao calor em comparação aos recém-nascidos, as condições climáticas de Imperatriz-MA impõem desafios significativos ao conforto térmico ao longo do ano. Segundo Baêta e Souza (2010), a zona de termoneutralidade para bovinos adultos situa-se entre 10 e 27

°C, faixa que foi frequentemente ultrapassada neste estudo, principalmente nos meses mais quentes.

Segundo Brown-Brandl (2018) a exposição prolongada a temperaturas elevadas compromete o desempenho produtivo e aumenta a demanda energética para manutenção da homeotermia. De forma semelhante, Skonieski *et al.* (2021) observaram que bovinos adultos submetidos ao estresse térmico apresentam redução no consumo alimentar e alterações comportamentais, mesmo quando não há extremos climáticos.

Em relação aos índices bioclimáticos, os valores elevados de ITU e, principalmente, de ITGU encontrados neste estudo confirmam a ocorrência de estresse térmico recorrente. Buffington *et al.* (1981) e Hahn (1985) ressaltam que ambientes com ITGU elevado são classificados como críticos para os animais, o que explica a predominância de classificações acima do conforto térmico observadas ao longo do ano. Assim, mesmo para bovinos adultos zebuínos, os resultados reforçam a necessidade de adoção de estratégias de manejo para mitigação do calor.

As temperaturas máximas receberam a classificação “s” em todos os meses, revelando um padrão constante de calor acima do limite de conforto. Esse excesso térmico tende a alterar o comportamento ingestivo e a sobrecarregar os mecanismos de termorregulação, o que, segundo Skonieski *et al.* (2021), se traduz em redução no consumo de alimento e, por consequência, em menor produtividade. Mesmo sem ocorrências extremas, a constância de temperaturas acima do ideal caracteriza um estresse térmico cumulativo.

Ainda que não haja extremos severos, a constância de temperaturas acima do ideal configura um quadro de estresse térmico cumulativo.

As temperaturas mínimas, por sua vez, foram predominantemente classificadas como “cc”, ou seja, confortáveis.

No que diz respeito à umidade relativa, os meses de janeiro a maio e dezembro apresentaram umidade elevada (“SS”), o que, combinado com as altas temperaturas, contribui para uma sensação térmica mais intensa e dificulta a dissipação de calor por evaporação. Temperaturas extremas, sejam elas elevadas ou baixas, podem desencadear o estresse térmico nos animais, o que por sua vez pode resultar em uma série de problemas de saúde e na diminuição da produção de leite ou ganho de peso (Pegorin; Titto, 2021).

Apenas agosto foi classificado como “II”, revelando umidade abaixo do ideal, condição que favorece a desidratação e irritações nas vias aéreas. Os demais meses foram confortáveis (“CC”), o que favorece o equilíbrio hídrico dos animais.

O ÍTU foi classificado como "Ss" nos meses de junho, setembro, outubro e novembro e no restante dos meses "Cc, evidenciando uma condição térmica levemente acima do ideal para bovinos adultos. Embora essa classificação indique um risco moderado, sua constância ao longo do ano deve ser considerada um fator crítico de atenção, pois aponta para a ausência de períodos de alívio térmico. O Índice de Temperatura e Umidade (ITU), por ser composto, é de fato uma ferramenta importante para avaliar o estresse térmico em animais. No entanto, estudos recentes mostram que, quando usado isoladamente, esse índice pode não captar variações extremas, como picos de temperatura e umidade em determinadas horas do dia ou microclimas, levando à subestimação do desconforto térmico (Figueiredo *et al.*, 2024; Turn Tazzo *et al.*, 2024).

Observa-se que o ITGU apresentou "Ss" nos meses de maio a novembro com exceções apenas para os meses de janeiro, fevereiro, março, abril e dezembro isso indicar uma maior predisposição ao estresse térmico. Conforme o *National Weather Service* (1976), ambientes com ITU até 74 são classificados como normais, portanto, não estressantes valores entre 74 e 78 representam condição de alerta de 79 a 84 caracterizam ambientes perigosos e valores superiores a 85 indicam estado de emergência, ou seja, ambiente altamente estressante. Entretanto, Hahn (1985) descreve que condições de conforto térmico ocorrem com ITU igual ou inferior a 70; entre 71 e 78 o ambiente é considerado faixa crítica; valores entre 79 e 83 indicam ambiente perigo e acima de 83 configuram situação de emergência.

Para bovinos adultos, os resultados obtidos indicam a necessidade de estratégias de manejo específicas para mitigar os efeitos do estresse térmico, especialmente durante os períodos de maior temperatura e radiação solar. Segundo Baêta e Souza (2010), a adoção de medidas que favoreçam a dissipação de calor é essencial para a manutenção do conforto térmico e do desempenho produtivo em ambientes tropicais.

O uso de estruturas sombreadas e ambientes com adequada circulação de ar contribui para a redução da carga térmica incidente sobre os animais. Brown-Brandl (2018) destaca que bovinos adultos submetidos a ambientes quentes apresentam maior demanda energética para manutenção da homeotermia, o que reforça a importância de intervenções no ambiente físico.

O acompanhamento de índices bioclimáticos, como o ITU e o ITGU, auxilia na identificação de situações de risco térmico e subsidia a tomada de decisão no manejo diário. Conforme destacado por Hahn (1985), a utilização desses índices permite antecipar condições de estresse e orientar estratégias de manejo mais eficientes para bovinos adultos em regiões de clima quente.

6 CONCLUSÃO

Conclui-se que o município de Imperatriz-MA apresenta condições climáticas favoráveis à ocorrência de estresse térmico em bovinos durante grande parte do ano, conforme indicado pelos índices bioclimáticos ITU e ITGU e pelas variáveis meteorológicas analisadas. As temperaturas e umidades frequentemente acima das faixas de conforto, sobretudo no segundo semestre, evidenciam desconforto térmico tanto em bovinos recém-nascidos quanto adultos, podendo afetar o desempenho produtivo e reprodutivo. Assim, destaca-se a necessidade de adoção de medidas de mitigação, como sombreamento, ventilação, oferta adequada de água e monitoramento térmico, a fim de reduzir os efeitos do calor e promover o bem-estar dos rebanhos zebuínos. O diagnóstico bioclimático mostrou-se uma ferramenta eficiente para orientar o manejo ambiental e contribuir para a sustentabilidade da pecuária no Maranhão.

7 REFERÊNCIAS

- Abiec – Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. (2016). *Perfil da pecuária no Brasil*. <https://www.abiec.com.br>
- Abreu, P. G. de, Abreu, V. M. N., Francison, L., Coldebella, A., & Amaral, A. G. do. (2011). *Estimativa da temperatura de globo negro a partir da temperatura de bulbo seco*. *Revista Engenharia na Agricultura*, 19(6), 557–563. <https://doi.org/10.13083/reveng.v19i6.273>.
- Almeida, G. L. P., Pandorfi, H., Guiselini, C., Henrique, H. M., & , G. A. P. (2011). Uso do sistema de resfriamento adiabático evaporativo no conforto térmico de vacas da raça Girolando. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(7), 754–760. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000700015>
- Ahirwar, M. K., Katakaware, M. A., Pushpadass, H. A., Jeyakumar, S., Jash, S., Nazar, S., & Ramesha, K. P. (2018). Scrotal infrared digital thermography predicts effects of thermal stress on buffalo (*Bubalus bubalis*) semen. *Journal of Thermal Biology*, 78, 51–57. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.09.003>
- Baêta, F. C., & Souza, C. F. (2010). *Ambiência em edificações rurais: Conforto animal* (2ª ed.). Universidade Federal de Viçosa.
- Baena, M. M., Costa, A. C., Vieira, G. R., Rocha, R. F. B., Ribeiro, A. R. B., Ibelli, A. M. G., & Meirelles, S. L. C. (2019). Heat tolerance responses in a *Bos taurus* cattle herd raised in a Brazilian climate. *Journal of Thermal Biology*, 81, 162–169. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.02.017>
- Brown-Brandl, T. M. (2018). Understanding heat stress in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 96(Suppl. 2), 29–33.
- Buffington, D. E., Collazo-Arocho, A., Canton, G. H., Pitt, D., Thatcher, W. W., & Collier, R. J. (1981). Black globe-humidity index (BGHI) as a comfort equation for dairy cows. *Transactions of the ASAE*, 24(3), 711–714.
- Climate-Data.org. (n.d.). *Dados climáticos para Imperatriz, Maranhão*. <https://pt.climate-data.org/>
- Fernandes, A. C. (2005). *Efeito do estresse térmico sobre a seleção de dieta por bovinos* (Dissertação de mestrado). Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP, Brasil.
- Graczki, G., Olias, C., Sauer, A., Busnello, F., Lopes da Luz, G., & Lajús, C. (2022). Estresse térmico em vacas leiteiras: Revisão. *Pubvet*, 16, 1–4. [https://doi.org/10.31533/pubvet.v16n03a1065.1-](https://doi.org/10.31533/pubvet.v16n03a1065.1-4)

- Hahn, G. L. (1985). Management and housing of farm animals in hot environments. In M. K. Yousef (Ed.), *Stress physiology in livestock* (Vol. 2, pp. 151–174). CRC Press.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2024). *Pesquisa da pecuária municipal 2023*. <https://sidra.ibge.gov.br>
- Jo, J., & Lee, H. (2025). Impact of relative humidity on heat stress responses in early-lactation Holstein cows. *Animals*, *15*(11), 1503. <https://doi.org/10.3390/ani15111503>
- Kemer, F., Glienke, R., & Bosco, L. (2020). Índices de conforto térmico para bovinos leiteiros em Santa Catarina, sul do Brasil. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, *6*(5), 29655–29672. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-426>
- Martins, J. L. (2001). *Avaliação da qualidade térmica do sombreamento natural de algumas espécies arbóreas, em condições de pastagem* (Dissertação de mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil.
- National Weather Service. (1976). *Livestock hot weather stress: Regional operations manual*. U.S. Department of Commerce.
- Neves, L. F. M., Gomes, M. B., Campolina, J. P., Campos, M. M., Souza, E. M. B., Diavão, J., Silva, A. S., Tomich, T. R., Carvalho, W. A., Lage, H. F., & Coelho, S. G. (2025). Impact of heat stress on intake, performance, digestibility and health of neonatal dairy calves. *Animals*, *15*(13), 1876. <https://doi.org/10.3390/ani15131876>
- Novelli, T. I. (2023). *Efeito da sombra artificial sobre o conforto térmico e o desempenho zootécnico de Nelores em confinamento* (Tese de doutorado). Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP, Brasil.
- Oliveira Filho, A. (2015). *Produção e manejo de bovinos de corte*. KCM Editora. <https://acrimat.org.br/portal/wp-content/uploads/2017/05/livro-producao-e-manejo-de-gado-de-corte.pdf>
- Oliveira, C. P., Sousa, F. C., Silva, A. L., Schultz, É. B., Valderrama Londoño, R. I., & Souza, P. A. R. (2025). Heat stress in dairy cows: Impacts, identification and mitigation strategies—A review. *Animals*, *15*(2), 249. <https://doi.org/10.3390/ani15020249>
- Pegorin, E. P., & Titto, E. A. L. (2021). Bem-estar de bovinos de corte em confinamento para terminação. In *Coletânea Bem-Estar Animal, Inovação e Tecnologia: Atualidades*. Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.11606/9786587023151>
- Pires, M. F. A., & Campos, A. T. (2008). *Conforto animal para maior produção de leite*. Centro de Produções Técnicas.
- Pragna, P., Sejian, V., Soren, N. M., Bagath, M., Krishnan, G., Beena, V., Indira Devi, P., & Bhatta, R. (2017). Summer season induced rhythmic alterations in metabolic activities to adapt to heat

stress in three indigenous goat breeds. *Biological Rhythm Research*.
<https://doi.org/10.1080/09291016.2017.1386891>

- Reuscher, K. J., Salter, R. S., & Van Os, J. M. C. (2024). Thermal comfort and ventilation preferences of dairy calves raised in paired outdoor hutches during summertime. *Journal of Dairy Science*, *107*, 2284–2296. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24006>
- Romanello, N., Lourenço Junior, J. B., Barioni Junior, W., Brandão, F. Z., Marcondes, C. R., Pezzopane, J. R. M., Pantoja, M. H. A., Botta, D., Giro, A., Moura, A. B. B., Barreto, A. N., & Garcia, A. R. (2018). Thermoregulatory responses and reproductive characteristics in composite bulls raised in a tropical climate. *International Journal of Biometeorology*, *62*(9), 1575–1586. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1557-8>
- Santos, G. C. L., & Cabral, A. M. D. (2021). Índices bioclimáticos, modelagem matemática e índices estatísticos para avaliação do conforto térmico animal. *Research, Society and Development*, *10*(3), e20910313328. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13328>
- Santos, N. F. A., Silva, J. A. R., Araújo, A. A., Garcia, A. R., Beldini, T. P., Rodrigues, L. S., Lourenço Júnior, J. B., & Bezerra, A. S. (2020). Silvopastoral system mitigates thermal stress and benefits water buffaloes' comfort in the Eastern Amazon, Brazil. *Journal of Agricultural Studies*, *8*(4). <https://doi.org/10.5296/jas.v8i4.17334>
- Silva, R. G. (2000). *Introdução à bioclimatologia animal*. Nobel.
- Titto, E. A. L. (2006). *Avaliação do conforto térmico de bovinos a pasto sob diferentes condições de sombreamento*. Universidade de São Paulo.
- Tetens, O. (1930). Über einige meteorologische Begriffe. *Zeitschrift für Geophysik*, *6*, 297–309.
- Thom, E. C. (1959). The discomfort index. *Weatherwise*, *12*(2), 57–60. <https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>
- Wang, J., Li, J., Wang, F., Xiao, J., Wang, Y., Yang, H., Li, S., & Cao, Z. (2020). Heat stress on calves and heifers: A review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, *11*, Article 79. <https://doi.org/10.1186/s40104-020-00485-8>