

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

MARCOS DOUGLAS SOUSA SILVA

**ESTIMATIVA DE TEMPERATURA DE GLOBO NEGRO PARA ANÁLISE
ESPACIAL NO ESTADO DO MARANHÃO.**

Chapadina – MA

2023

MARCOS DOUGLAS SOUSA SILVA

ESTIMATIVA DE TEMPERATURA DE GLOBO NEGRO PARA ANÁLISE ESPACIAL
NO ESTADO DO MARANHÃO.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação de Engenharia Agrícola da
Universidade Federal do Maranhão como
requisito para obtenção do título de bacharel
em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Patrício Gomes Leite
Coorientador: Prof. Dr. Nítalo André Farias
Machado

Chapadinha – MA

2023

MARCOS DOUGLAS SOUSA SILVA

ESTIMATIVA DE TEMPERATURA DE GLOBO NEGRO PARA ANÁLISE ESPACIAL
NO ESTADO DO MARANHÃO.

Aprovado em: ____ de _____ de _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Patrício Gomes Leite (Orientador)
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

Prof. Dr. Jordânio Inácio Marques (Examinador)
Universidade Federal do Maranhão – UFMA

Prof. Dr. Aldair de Souza Medeiros (Examinador)
Universidade Federal do Maranhão – UFMA

Msc. Aylpy Renan Dutra Santos (Examinador)
Universidade Federal de Grande Dourados-UFGD

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Sousa Silva, Marcos Douglas.

ESTIMATIVA DE TEMPERATURA DE GLOBO NEGRO PARA ANÁLISE
ESPACIAL NO ESTADO DO MARANHÃO / Marcos Douglas Sousa
Silva. - 2023.

25 f.

Coorientador(a): Nítalo André Fárias Machado.

Orientador(a): Patrício Gomes Leite.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Agrícola,
Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha-ma, 2023.

1. Ambiência. 2. Bem estar animal. 3.
Bioclimatologia. I. Fárias Machado, Nítalo André. II.
Gomes Leite, Patrício. III. Título.

DEDICATÓRIA

Este trabalho é todo dedicado à Deus, meus familiares, professores, amigos de caminhada acadêmica e a todos aqueles, que ajudaram-me na condução desta pesquisa de alguma forma. E assim, de forma especial, venho por mesmo deste, dedicar esse trabalho a meu grande amigo *Antônio Barbosa* (grande Tony), que hoje se encontra nos braços do senhor, mas sempre foi um daqueles que mesmo de longe nunca desistiu do seu amigo desgarrado e sempre estive na torcida pelo meu sucesso, assim como eu sempre estive pelo dele, que Deus te abençoe meu grande amigo, você faz falta.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus, que tem me dado saúde, coragem e força para enfrentar os desafios ao longo da jornada.

Agradecer aos meus pais Maria Das Neves Santos Souza e Domingos Castro Silva, porque mesmo diante das dificuldades, eles não pouparam esforços para dar todo o apoio, carinho e assistência necessária para essa conquista.

A minha vó, Benedita Santos Sousa e todos meus tios, especial Sebastiana S. S, José Roberto S.S., Maria Roselia S. S. e Maria Das Graças S. S., que sempre me motivaram a estudar e foram grandes incentivadores da minha jornada acadêmica.

Agradeço a todos meus familiares e amigos que sempre me apoiaram e também pelos conselhos dados, como meus primos, meus tios e companheiros da UFMA, em especial a Família Arouche, Eduardo Arouche Inés Arouche e Tainara Arouche, Maiane Arouche, Luana Arouche, que além do apoio constante, cederam-me de sua moradia e me trataram como filho de sua família. Também agradeço em especial pessoas que são mais que amigos e me acompanharam nessa jornada acadêmica Eduardo Arouche, Diego Otavio, Saulo Santos, Pedro Augusto, Ana Karla, Gildo Filho, Leosvanio de Jesus, Maiane e Mayara (gêmeas), Mauara Raposo, Amanda Franca, Brenda Caralho, Alex (Branção), dona Dasdores e família.

Agradeço a todos os professores do ensino médio e os professores da UFMA, em especial ao Dr. Nítalo André Farias Machado, Dr. Patricio Gomes Leite, Dr. Jordânio Inácio Marques, Dr. Washington da Silva Sousa e, que estiveram comigo na caminhada da universidade, acolheram-me e receberam de braços abertos durante o período da pesquisa e estágios, sempre me motivando e dando os melhores conselhos.

Agradeço a todos os integrantes do INOVAR e GETAD, que me ajudaram nesta e outras pesquisas e estiveram comigo nessa temporada. Em especial Andreza Maciel e Wellington Cruz Corrêa que contribuíram diretamente na produção deste trabalho.

Agradeço todos os servidores da UFMA, técnicos, equipe de limpeza, vigilância, a moça da lanchonete, aos profissionais do RU e todos profissionais que se esforçam diariamente para manutenção da universidade.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1	Aspectos Gerais do gado de Leite	13
2.2	Temperatura de globo negro e conforto térmico.....	13
3	MATERIAL E	
	MÉTODOS	16
3.1	Caracterizações da área de estudo.....	16
3.2	Conjunto de dados.....	17
3.3	Análise estatística.....	18
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5	CONCLUSÃO	26
	REFERÊNCIAS	27

RESUMO

O uso do Índice de Temperatura de Globo e umidade e Carga Térmica e Radiante é limitado em algumas regiões devido à inexistência de medições da temperatura de globo negro nas estações meteorológicas. A estimativa do TGN a partir de variáveis meteorológicas pode ser útil no cálculo de índices bioclimáticos em diferentes regiões. Portanto, o objetivo com este estudo foi (1) estimar a temperatura de globo negro usando um modelo empírico e (2) elaborar mapas temáticos da temperatura de globo negro do estado do Maranhão para a bovinocultura leiteira via modelagem geostatística. Os dados foram obtidos na plataforma NASA *Prediction Of Worldwide Energy Resources* - NASA POWER. Os mapas temáticos foram gerados usando como método de interpolação a krigagem ordinária, diante da transformação dos dados em um arquivo no formato shapefile no *software* QGIS 3.22.4. A temperatura média do bulbo seco (TBS) foi de 27.6 °C, com um desvio-padrão de 1.62 °C, indicando uma consistência moderada ao longo do tempo, A umidade relativa média (UR) atingiu 68.5%. A radiação solar de ondas curtas (RS) e a temperatura de globo negro (TGN) exibiram uma correlação positiva robusta, com intensidade muito forte ($r = 0.725$, $p < 0.001^{**}$). A correlação entre a umidade relativa do ar (UR) e a velocidade do vento (VV) revelou uma associação negativa significativa muito forte de -0.922 ($p < 0.001^{**}$). A radiação solar de ondas curtas (RS) e a temperatura de globo negro (TGN) exibiram uma correlação positiva robusta, com intensidade forte ($r = 0.725$, $p < 0.001^{**}$). Além disso, a compreensão dessa relação entre RS e TGN é importante para o desenvolvimento de estratégias de mitigação do estresse térmico. É possível constatar que os dados relacionados à Temperatura de Globo Negro (TGN) apresentaram uma variação anual situada entre 32 e 36°C no estado do Maranhão ao longo do período. Os resultados evidenciam a viabilidade de estimar a temperatura de globo negro por meio de modelos empíricos, usando plataformas de big data para processamento de parâmetros meteorológicos. A espacialização da temperatura de globo negro proporciona uma compreensão mais profunda dos padrões temporais e espaciais na distribuição da TGN, fornecendo informações úteis para compreender os impactos potenciais em setores estratégicos como o manejo de bovinos leiteiros.

Palavras-chave: Ambiência, bioclimatologia, Bem estar animal

ABSTRACT

The use of the Globe Temperature and Humidity Index and Thermal and Radiant Load is limited in some regions due to the lack of black globe temperature measurements at meteorological stations. Estimating TGN from meteorological variables can be useful in calculating bioclimatic indices in different regions. Therefore, the objective of this study was (1) to estimate the black globe temperature using an empirical model and (2) to prepare thematic maps of the black globe temperature of the state of Maranhão for cattle farming via geostatistical modeling. The data was obtained from the NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources - NASA POWER platform. Thus, TGN temperature was estimated based on the empirical model developed by Abreu (2011). The thematic maps were generated using ordinary kriging as an interpolation method, after transforming the data into a shapefile format file in the QGIS 3.22.4 software. The average dry bulb temperature (TBS) was 27.6°C, with a standard deviation of 1.62°C, indicating moderate consistency over time. The average relative humidity (RH) reached 68.5%. Shortwave solar radiation (RS) and black globe temperature (TGN) exhibited a robust positive correlation, with very strong intensity ($r = 0.725$, $p < 0.001^{**}$). The correlation between relative humidity (RH) and wind speed (VV) revealed a very strong significant negative association of -0.922 ($p < 0.001^{**}$). Shortwave solar radiation (RS) and black globe temperature (TGN) exhibited a robust positive correlation, with strong intensity ($r = 0.725$, $p < 0.001^{**}$). Furthermore, understanding this relationship between RS and TGN It is important for the development of thermal stress mitigation strategies. It is possible to verify that the data related to the Black Globe Temperature (TGN) presented an annual variation between 32 and 36°C in the state of Maranhão throughout the period. The results highlight the feasibility of estimating the black globe temperature through empirical models, using big data platforms for processing meteorological parameters. Spatialization of black globe temperature provides a deeper understanding of temporal and spatial patterns in TGN distribution, providing useful information for understanding potential impacts on strategic sectors such as dairy cattle management.

Keywords: Ambience, bioclimatology, Animal welfare.

1. INTRODUÇÃO

Os bovinos, tanto de corte quanto de leite, sofrem influência das condições climáticas a qual estão expostos, pois estas comprometem as funções orgânicas envolvidas na manutenção do equilíbrio interno do organismo, no desempenho produtivo e zootécnico (Santos et al., 2021). Esse cenário torna-se ainda mais preocupante à luz das mudanças climáticas (Sejian et al., 2022) e aumento da população humana de 9,6 bilhões até 2050 (ONU, 2019), indicando incremento iminente da demanda atual por alimentos.

Segundo Mosconi (2022), para aferir a carga térmica ambiental e o risco de calor, podem ser utilizados índices bioclimáticos, como por exemplo, o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU), Índice de Carga Térmica (ICT) e a entalpia (Castro-Júnior; Silva, 2021). De maneira geral, os índices bioclimáticos foram desenvolvidos para expressar o conforto/desconforto do ambiente aos animais (Lemke; Kjellstrom, 2012; Hajizadeh et al., 2017), para que possam ser utilizados para melhorar o planejamento e a tomada de decisões agrícolas (McManus et al., 2016; Pezzopane et al., 2019).

O índice de temperatura de globo negro (ITGN) é um bom exemplo de índice aplicado ao diagnóstico bioclimático para animais submetidos à exposição direta de radiação, como animais criados em sistemas de pastejo. No entanto, a estimativa do ITGN requer dados de temperatura de globo negro (TGN) (Lemke; Kjellstrom, 2012; Pezzopane et al., 2019). O TGN é uma medida indireta da carga térmica radiante do ambiente obtida com um termômetro instalado dentro de uma esfera oca de cobre pintada de preto fosco, com 0,05 m de espessura e 0,15 m de diâmetro, que permite inferir a sensação térmica de um animal (Abreu et al., 2011; Hajizadeh et al., 2017).

O uso diagnóstico bioclimático da ITGU e CTR é limitado em algumas regiões devido à inexistência de medições da temperatura de globo negro nas estações meteorológicas distribuídas ao longo do país (Yanagi Junior, 2006). A carência de termômetros de globo negro nas estações meteorológicas das redes de monitoramento meteorológico de instituições públicas estaduais e federais e empresas privadas no Maranhão dificulta a avaliação do gerenciamento do conforto térmico e qualidade ambiental.

A estimativa do TGN a partir de variáveis meteorológicas pode ser útil no cálculo de índices bioclimáticos em diferentes regiões (Dimiceli et al., 2012; Mendes et al., 2014). A utilização de modelos empíricos na estimativa do TGN é essencial para a avaliação das trocas energéticas diurnas e noturnas na interface entre o animal e o ambiente, além de ser crucial

para a análise das regiões produtoras e das espécies mais promissoras (Silva et al., 2019). Dessa forma, os objetivos com este estudo foram (1) estimar a temperatura de globo negro usando um modelo empírico e (2) elaborar mapas temáticos da temperatura de globo negro do estado do Maranhão para a bovinocultura leiteira via modelagem geostatística.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos Gerais do gado de Leite

O Brasil com toda sua extensão é um grande produtor de leite, mesmo com uma queda de 1,6% em 2022, correlacionado a 2021, sua produção foi superior a 34,6 bilhões de litros, segundo a Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM) 2022, divulgada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O leite é uma das commodities agropecuárias mais importantes do mundo, estando entre os cinco produtos mais comercializados, tanto em volume quanto em valor (GDP, 2017).

Uma atividade bastante explorada na região é a de bovinos leiteiros, devido ao alto valor nutricional do leite e seus derivados (Irano et al., 2012; Zambom et al., 2013). Embora importante, especialmente no nordeste do Brasil, sua inserção na agroindústria depende da utilização de atividades que alterem a baixa produtividade dos animais em ambientes quentes, ou seja, análises bioclimáticas e adoção de espécies geneticamente mais adaptadas (Lôbo; Silva, 2005; Pequeno et al., 2017; Arnal et al., 2018).

Segundo a Associação Brasileira de Criadores de Girolando-ABCG, através de cruzamentos entre as raças Gir e Holandesa, gerou-se uma raça de alta produtividade, rusticidade, precocidade, longevidade e fertilidade, o girolando, que possui alta capacidade de adaptação a diferentes tipos de manejo e clima. A interação entre temperaturas elevadas e umidade relativa pode levar à redução da dissipação de calor na forma latente. Esse declínio está vinculado a uma diminuição no consumo de ração, simultaneamente acompanhado por um aumento na frequência respiratória e na temperatura retal dos animais (Machado, 1985).

A grande diversidade climática (Alvares et al., 2014) e a adoção predominante de um sistema pastoril/extensivo causam estresse térmico na maioria dos animais (Silva et al., 2008; da Silva et al., 2010; Mendes et al., 2014), e o bom desempenho depende de avaliações bioclimáticas aliadas ao manejo correto. Esse tipo de ação pode impulsionar a pecuária leiteira regional, com acréscimo de renda para a população, e incentivar os produtores a permanecerem na fazenda.

O Brasil é um país tropical, muitos animais nativos europeus de clima temperado não se adaptam bem (Medeiros, 1997), ou seja, holandesas, especializadas na produção de leite. Raças exóticas com bom desempenho leiteiro concentram-se no sul e sudeste do Brasil, e sua exploração nos estados do Nordeste, depende, portanto, de um diagnóstico bioclimático. Vacas de alta expressão genética para produção de leite são mais sensíveis aos efeitos do estresse térmico do que aquelas de menor produção, pois em condições climáticas estressantes têm o seu consumo alimentar reduzido, não sendo suas necessidades nutricionais atendidas, implicando conseqüentemente em queda na produção (Dias, 2013).

2.2. Temperatura de globo negro e conforto térmico

Segundo Abreu et al. (2011) e Hajizadeh et al. (2017) o TGN (Termômetro de Globo Negro) é uma medida indireta da carga térmica radiante do ambiente. Esse valor é obtido por meio de um termômetro instalado dentro de uma esfera oca de cobre pintada de preto fosco, com 0,05 m de espessura e 0,15 m de diâmetro. Essa técnica possibilita a inferência da sensação térmica experimentada por um animal no ambiente. De acordo os produtos disponíveis no mercado nacional atualmente, seu valor comercial pode chegar de R\$ 1.200,00 a cerca de R\$ 5.000,00.

Os fatores ambientais, como água disponível, sombreamento, temperatura corporal e comportamentos em diversas condições térmicas, influenciam as trocas térmicas e as perdas de calor de um animal (Navarini, 2009 e Souza 2006). A falta de equilíbrio térmico entre o animal e o ambiente, causada por esses fatores, pode levar a problemas significativos na produção e reprodução animal, desencadeando o estresse térmico (NAVARINI, 2009). Esse equilíbrio mantém-se através da produção, com gasto de energético, de calor do corpo e o calor que é ganho ou perdido para o ambiente (MARCELLINO et al., 2017). Adicionalmente, é importante observar que o estresse térmico tem o potencial de impactar não apenas a osmolaridade, mas também o volume sanguíneo em vários ruminantes (Singh et al., 2016).

A fim de se quantificar a influência dessas variáveis térmicas sobre o bem-estar animal, poder-se-á fazer uso dos índices de conforto térmico, dentre estes temos o Índice de Temperatura de Globo Negro (ITGU). Desenvolvido por Buffington et al. (1981) o ITGU foi criado como um Indicador ambiental para avaliar o conforto térmico de vacas leiteiras em ambientes sujeitos à radiação solar direta e indireta. Incorporando não apenas a temperatura do ar, mas também os efeitos da radiação, umidade relativa do ar, pressão barométrica e vento, esse índice simula o processo de sudação (EMBRAPA, 2009).

Existe assim, uma correlação positiva significativa entre o aumento do Índice de Temperatura e Umidade Global (ITGU) e o comportamento de pastejo, enquanto uma correlação negativa foi observada em relação ao comportamento de ócio dos animais. Esse padrão sugere uma possível explicação: o desconforto dos animais em temperaturas mais altas (Pereira et al., 2018).

Segundo Barcelos (2022), para monitorar as condições de conforto térmico, a aquisição do equipamento de coleta é complicada devido ao seu custo elevado. Assim, a adoção de modelos matemáticos para estimar a temperatura de globo negro, reduzem os gastos. Em prol de boas produtividades e conseqüentemente um retorno financeiro adequado, o animal tem que ser exposto a um cenário com temperaturas apropriadas, para assim, o haver o consumo correto do alimento, na qual este será convertido em produção (Bertoncelli, 2013).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterizações da área de estudo

A área de estudo compreende o estado do Maranhão, localizado na região Nordeste do Brasil ($0,9^{\circ}$ S e $10,47^{\circ}$ S e $48,89^{\circ}$ W e $41,68^{\circ}$ W). Esse estado possui cinco Mesorregiões Geográficas: Norte Maranhense, Oeste Maranhense, Centro Maranhense, Leste Maranhense e Sul Maranhense (Figura 1). O padrão climático do estado do Maranhão apresenta predominantemente clima do tipo Aw (tropical com chuvas de verão), de acordo com Köppen-Geiger, com precipitação e temperatura média anual de 1678,9 mm e $27,3^{\circ}$ C (Aparecido et al., 2023).



Figura 1. Mapa do Maranhão e suas mesorregiões.

3.2 Conjunto de dados

Os dados de temperatura do bulbo seco (TBS, $^{\circ}$ C) e a temperatura do bulbo úmido (TBU $^{\circ}$ C), umidade relativa do ar (UR, %), velocidade do vento (VV, m/s), radiação solar de ondas curtas (RS, MJ/m²/Dia) foram obtidos na plataforma NASA *Prediction Of Worldwide Energy Resources* - NASA POWER (Figura 2), definiu-se distribuir aleatoriamente 100 pontos, dentro do estado do Maranhão, Brasil. Foi considerando a série histórica entre 2010 e 2021.

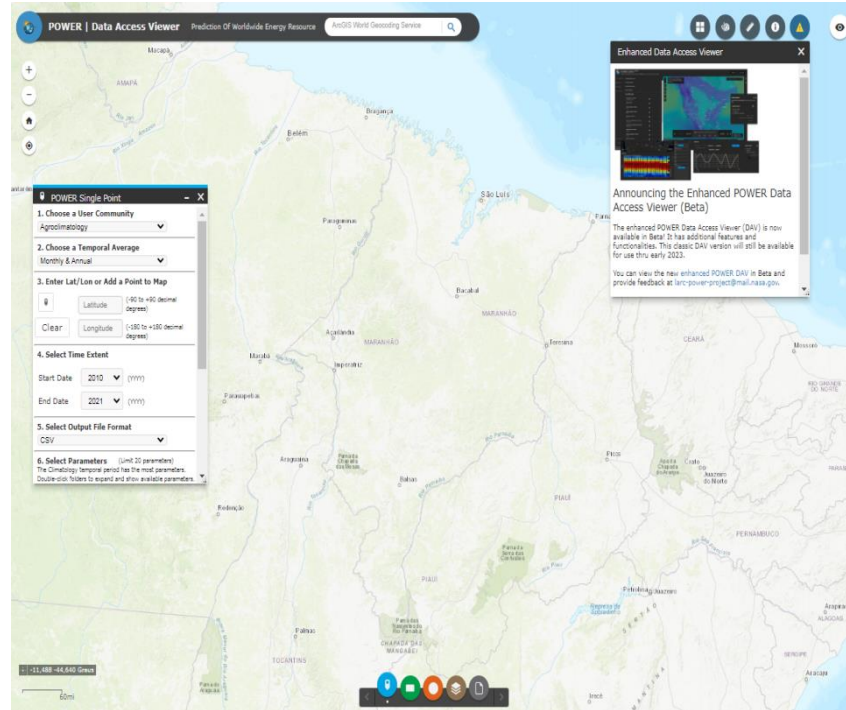


Figura 2. Representação da interface do site da NASA POWER.

Dados históricos mensais estimados e observados mensalmente para temperatura bulbo seco (TBS, °C) foram usados para calcular a temperatura de globo negro (TGN °C) de cada coordenada. Assim temperatura TGN foi estimada a partir do modelo empírico desenvolvido por Abreu (2011), conforme a equação 1.

$$TGN = -0,9387 + 0,8562 TBS + 0,0162 TBS^2 \quad (1)$$

Em que: TGN = Temperatura de globo negro em °C e TBS = Temperatura de bulbo seco em °C.

3.3 Análise estatística

O conjunto de dados foi organizado no Excel 2016, Microsoft®. Os dados da TGN foram transformados em um arquivo no formato shapefile no *software* QGIS 3.22.4. Neste estudo, os mapas temáticos foram gerados usando como método de interpolação a krigagem ordinária (1) com a estrutura e a dependência espacial estabelecida pelo semivariograma (2), utilizando o modelo teórico linear de variogramas (3) a partir do System for Automated Geoscientific Analyses - SAGA 7.8.2.

$$\underline{Z}(S_o) = \sum_{i=1}^n \lambda_i * Z(S_i) \quad (1)$$

Onde: $Z(S_o)$ é o valor interpolado na posição S_o ; λ_i é o peso atribuído ao i -ésimo valor amostrado na posição S_i ; $Z(S_i)$ é o valor atribuído amostrado; n é o número de localidades vizinhas empregadas para interpolação do ponto; e o somatório dos pesos λ_i deve ser igual a 1 e $0 \leq \lambda_i \leq 1$.

$$\underline{\gamma}(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{N(k)} [Z(x_i) - Z(S_i+h)]^2 \quad (2)$$

Onde: $\underline{\gamma}(h)$ é o semivariograma; h é a distância de separação entre as medidas, $N(k)$ é o número de pares experimentais de dados medidos de $Z(x_i)$ e $Z(S_i+h)$, $Z(S_i)$ é o valor da variável para posição S_i não estimado (verdadeiro) considerada como uma variável aleatória, função da posição da amostragem x , $Z(S_i+h)$ é o valor da mesma variável na posição S_i+h em qualquer direção, seguindo a equação (3).

$$\gamma(h) = c + b * h \quad (3)$$

Onde: $\gamma(h)$ é o semivariograma a uma distância (h), c é a contribuição do patamar de variabilidade, b é a inclinação que representa a taxa de variação espacial, e h é a distância entre os pontos.

A hipótese de normalidade dos resíduos foi verificada pelo teste de Shapiro Wilk. Além disso, realizou uma estatística descritiva e uma correlação linear de Spearman usando o software jamovi versão 2.3 (2022). Um nível de 5% de significância foi adotado como limite em todos os testes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra os resultados da análise estatística descritiva das variáveis do estudo. A temperatura média do bulbo seco (TBS) foi de 27,6 °C, com um desvio-padrão de 1,62°C, indicando uma consistência moderada ao longo do tempo. Temperaturas aceitáveis para os animais, pois de acordo com Pereira (2005), temperaturas superiores a 30 °C já interferem nas condições de estresse. A umidade relativa média (UR) atingiu 68.5%, os valores máximo e mínimo documentados foram de 44,5% e 87,9%, respectivamente, resultando em coeficiente de variação de 19,71%, sugerindo uma média variabilidade relativa nesse aspecto, com base na classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980).

Tabela 1 - Estatística descritiva da temperatura do bulbo seco (TBS, °C) e a temperatura do bulbo úmido (TBU °C), umidade relativa do ar (UR, %), velocidade do vento (VV, m/s), radiação solar de ondas curtas (RS, MJ/m²/dia) e temperatura de globo negro (TGN, °C)

Item	TBS	UR	VV	TBU	RS	TGN
Média	27.6	68.5	1.05	23.9	19.5	35.0
Mediana	27.3	69.8	0.985	24.1	19.0	34.2
Desvio-padrão	1.62	13.5	0.234	0.812	1.75	2.89
Mínimo	24.9	44.5	0.710	21.5	15.8	30.4
Máximo	31.3	87.9	1.70	25.0	24.1	41.8

A velocidade do vento (VV) média foi de 1,05 m s⁻¹, com um desvio-padrão de 0,234 m/s, apontam para condições de ventilação predominantemente suaves. Assim, em seus estudos Baêta e Souza (1997) evidenciam que a condição adequada de VV para bem estar animal se encontra entre 1,38 a 2,22 km h⁻¹, indicando que a média encontrada na estatística descritiva deste trabalho está fora dos padrões exigidos, o que pode gerar estresse térmico aos animais.

A temperatura do bulbo úmido (TBU) média de 23,9 °C, com um intervalo entre o mínimo de 21,5 °C e o máximo de 25,0 °C, enquanto a radiação solar de ondas curtas (RS) apresentou uma média de 19,5 MJ/m²/dia, variando de 15.8 MJ/m²/dia a 24.1 MJ/m²/dia. A temperatura de globo negro (TGN) teve média de 35,0 °C, com desvio-padrão de 2,89 °C e variação entre 30,4 °C e 41,8 °C. Esses resultados proporcionam *insights* preliminares sobre as condições bioclimáticas para o manejo e bem-estar dos bovinos leiteiros Girolando.

O valor ideal de TBS para bovinos leiteiros, incluindo a raça Girolando, varia, mas geralmente situa-se em torno de 25 a 28 °C. Segundo Pereira (2005), o estresse térmico ocorre quando a temperatura de bulbo seco ultrapassa os 30 °C. No entanto, vale ressaltar que o conforto térmico também é afetado por outros fatores, como umidade relativa, ventilação e disponibilidade de sombra. Para que a umidade relativa do ar possa ser considerada normal, é necessário que esteja entre 50 a 70% (Nääs; Souza, 2003). Em relação à temperatura de globo negro (TGN), valores abaixo de 30 °C são considerados aceitáveis para o conforto dos bovinos leiteiros Segundo Azevedo (2005).

A Tabela 2 apresenta a matriz de correlação de Spearman (r) entre as variáveis do estudo. Para avaliar a intensidade das correlações, utilizou-se a classificação de Callegari-Jacques (2003), em que o coeficiente de expressão (r) pode ser interpretado qualitativamente nos seguintes intervalos: $0,9 < |r| > 1,0$ correlação muito forte; $0,7 < |r| > 0,9$ correlação forte; $0,4 < |r| > 0,7$ correlação moderada; $0,2 < |r| > 0,4$ correlação fraca; $0,0 < |r| > 0,2$ correlação muito fraca.

Tabela 2 – Matriz de correlação entre a temperatura do bulbo seco (TBS, °C) e a temperatura do bulbo úmido (TBU °C), umidade relativa do ar (UR, %), velocidade do vento (VV, m/s), radiação solar de ondas curtas (RS, MJ/m²/dia) e temperatura de globo negro (TGN, °C).

	TBS	UR	VV	TBU	RS	TGN
TBS	—					
p	—					
UR	0.132	—				
p	0.115	—				
VV	0.033	-0.922	—			
p	0.692	< 0.001**	—			
TBU	-0.247	0.430	-0.583	—		
p	0.003**	< 0.001**	< 0.001**	—		
RS	0.028	-0.869	0.885	-0.510	—	
p	0.742	< 0.001**	< 0.001**	< 0.001**	—	
TGN	-0.278	-0.912	0.758	-0.059	0.725	—
p	< 0.001**	< 0.001**	< 0.001**	0.486	< 0.001**	—

Nota: *Significativo (p-valor < 0,05), ** Significativo (p-valor < 0,01).

A análise das correlações revelou padrões interessantes entre as variáveis meteorológicas. TBS e a TBU apresentaram correlação negativa significativa de intensidade fraca ($r = -0.247$, $p < 0.001^{**}$), indicando uma relação moderada inversa entre essas duas variáveis. Desse modo, à medida que a temperatura do bulbo seco aumenta, a temperatura do bulbo úmido tende a diminuir, e vice-versa, o que já era um resultado esperado.

A correlação entre a umidade relativa do ar (UR) e a velocidade do vento revelou associação negativa significativa muito forte de -0.922 ($p < 0.001^{**}$), indicando que a umidade tende a diminuir à medida que a velocidade do vento aumenta. Esta conexão é importante, pois tem um impacto direto nas condições de conforto térmico para bovinos

leiteiros. Em ambientes saturados, a capacidade de troca de calor desses animais é consideravelmente reduzida. Diante disso, os resultados sugerem que o aumento da ventilação emerge como uma alternativa eficaz para mitigar tal cenário.

As correlações revelaram padrões convenientes entre as variáveis climáticas. A TGN e a TBS apresentaram uma correlação negativa significativa de intensidade fraca ($r = -0.278$, $p < 0.001^{**}$), indicando uma relação fraca e inversa entre essas duas variáveis. Isso sugere que, à medida que a Temperatura do Globo Negro aumenta, a Temperatura do Bulbo Seco tende a diminuir, e vice-versa, o que se mostrou surpreendente, já que esta variável, TBS, foi utilizada para estimar a TGN, no modelo matemático disponibilizado por Abreu (2011).

A TGN e a Umidade relativa (UR) revelou uma correlação negativa significativa muito forte de -0.912 ($p < 0.001^{**}$), indicando que a umidade tende a aumentar à medida que a temperatura de globo negro reduz, este resultado foi evidenciado no trabalho de Walteman (2019) aonde é possível corroborar que as temperaturas coletadas são praticamente inversamente proporcionais, ou seja, com o crescimento da umidade a uma redução da temperatura.

O contrário, a correlação entre a Temperatura de Globo Negro e a Velocidade do Vento foi exposta uma correlação positiva pujante, com intensidade forte ($r = 0,758$, $p < 0.001^{**}$), o que destaca a influência direta da VV no aumento da TGN, que se dá pelo deslocamento de massa de ar úmido, ocasionando altas temperaturas e uma baixa umidade, condições inadequadas que geram estresse e afetam o bem estar dos animais.

A radiação solar de ondas curtas (RS) e a TGN exibiram uma correlação positiva robusta, com intensidade forte ($r = 0.725$, $p < 0.001^{**}$), o que destaca a influência direta da radiação solar no aumento da temperatura do globo negro. Esse achado é particularmente relevante em contextos nos quais a exposição prolongada à luz solar intensa é uma preocupação, como em ambientes agrícolas ou industriais. A elevação na TGN, resultante do aumento da radiação solar, pode indicar condições mais adversas em termos de calor radiante, impactando diretamente o conforto térmico e o desempenho de animais.

Além disso, a compreensão dessa relação entre RS e TGN é importante para o desenvolvimento de estratégias de mitigação do estresse térmico, especialmente em setores nos quais a exposição prolongada ao calor pode ter efeitos adversos. Essas informações podem orientar práticas de manejo, tais como a inserção de sistemas de resfriamento eficazes ou ajustes em ambientes de criação, visando assegurar condições mais confortáveis e seguras em situações de alta radiação solar. Portanto, a medição precisa da temperatura de globo

negro é um importante parâmetro na compreensão das dinâmicas térmicas e na adoção de medidas preventivas e corretivas apropriadas.

Os mapas temáticos que ilustram a distribuição espaço-temporal da Temperatura de Globo Negro (TGN) anual no estado do Maranhão estão apresentados na Figura 3. Para aprimorar a visualização, discutiu-se com base nas zonas fisiográficas de suas mesorregiões específicas: Norte Maranhense; Oeste Maranhense; Centro Maranhense; Leste Maranhense; e Sul Maranhense.

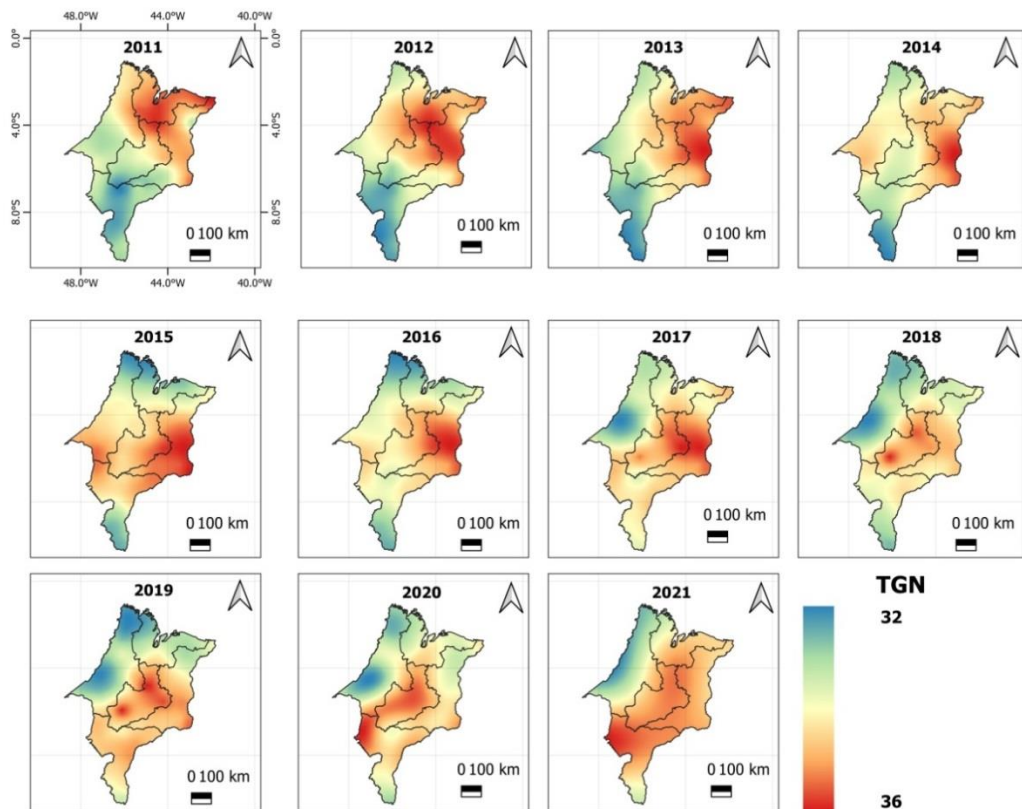


Figura 3. Mapas temáticos da variabilidade espacial média da TGN entre os de 2011 a 2021 para o estado do Maranhão, Brasil.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar a Figura 3, é possível constatar que os dados relacionados à Temperatura de Globo Negro apresentaram uma variação anual situada entre 32 e 36 °C no estado do Maranhão ao longo do período sob investigação. Entre os anos de 2011 e 2014, evidencia-se uma diminuição da TGN em direção à região Sul Maranhense. Adicionalmente, a partir de 2017, observa-se um aumento da TGN no Sul Maranhense, seguido por uma tendência decrescente em direção à mesorregião Oeste do Maranhão, que engloba o bioma amazônico.

Destaca-se que nos anos de 2017 e 2018, o estado do Maranhão foi impactado pelo fenômeno climático La Niña, com intensidade moderada, conforme apontado por Cunha Neto et al. (2021). Além disso, nota-se que ao longo da maior parte dos anos mencionados, a região Leste Maranhense apresentou valores de TGN próximos a 36 °C, sugerindo uma carga térmica associada à incidência intensa de radiação solar. Esses padrões temporais e espaciais na distribuição da TGN fornecem informações espaciais valiosos sobre as condições térmicas no estado, fundamentais para compreender os impactos potenciais em setores como a agricultura e o manejo de animais.

Nos período que consta dos anos de 2019 a 2021, é possível evidenciar altos valores de TGN, além do leste maranhense, como visto nos períodos anteriores, apenas a mesorregião oeste mantem-se com valores próximos aos de 32 °C, o demais Centro Maranhense, sul Maranhense grande parte do Norte Maranhense, possuem valores de TGN próximos às máximas, sugerindo uma carga térmica associada à incidência intensa de radiação solar. Estes dados contribuem de forma positiva, pois com o manuseio sensato é possível forjar manejos de produção que combatam as dificuldades geradas pelas intemperes climáticos e tragam aos animais o conforto térmico adequado.

5. CONCLUSÃO

Os resultados evidenciam a viabilidade de estimar a temperatura de globo negro por meio de modelos empíricos, usando plataformas de *big data* para processamento de parâmetros meteorológicos. A espacialização da temperatura de globo negro proporciona uma compreensão mais profunda dos padrões temporais e espaciais na distribuição da TGN, fornecendo informações úteis para compreender os impactos potenciais em setores estratégicos como o manejo de bovinos leiteiros.

REFERÊNCIAS

- ABREU, P. G. DE et al. Estimativa da temperatura de globo negro a partir da temperatura de bulbo seco. **Revista Engenharia Na Agricultura - REVENG** v.19, p.557–563. 2011 <https://doi.org/10.13083/reveng.v19i6.273>
- ABREU, P.G.; ABREU, V.M.N. Diagnóstico bioclimático para produção de aves na mesorregião Pantanal Sul Mato-Grossense. In: CONFERÊNCIA APINCO 2005 DE

CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 2005, Santos. **Anais Campinas: FACTA**, 2005a. p.188.

ABREU. P. G.; ABREU V. M. N.; FRANCISCON L.; COLDEBELLA, A.; AMARAL, A. G. DO. **Estimativa Da Temperatura De Globo Negro A Partir Da Temperatura De Bulbo Seco**. Revista Engenharia na Agricultura – REVENG Engenharia Na Agricultura, Viçosa - MG, V.19 N.6, p. 557-563. 2011 <https://doi.org/10.13083/reveng.v19i6.273>.

ALVARES, C. A, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; et al. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v22, n.6, p.711–728, 2014

AZEVEDO, M.; PIRES, M. F. A.; SATURNINO, H. M.; et al. Estimativas de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ e $\frac{7}{8}$ Holandês-Zebu em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.6, p.2000-2008, 2005.

BAËTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997.

BERTONCELLI, P. ., MARTIN, T. ., ZIECH, M. F. ., PARIS, W. ., & CELLA, P. **Conforto Térmico Alterando A Produção Leiteira**. Enciclopedia Biosfera, v.9, pg 17 2013. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3061>. Acesso em 14 dez. 2023.

BUFFINGTON, A.; SCHINDLER, S. M.; PENNYPACKER, C. R. A. measurement of the cosmic-ray antiproton flux and a search for antihelium. **Astrophysical Journal, Research supported by the U.S. Department of Energy**; v. 248, p.1179-1193, 1981.

CALLEGARI-JACQUES, S.M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Artmed Editora, 2009.

CURTIS, A.K.; SCHARF, B.; EICHEN, P.A.; SPIERS, D.E. Relationships between ambient conditions, thermal status, and feed intake of cattle during summer heat stress with access to shade. **Journal of Thermal Biology**. V.63, p.104-111, 2017

DA SILVA, T. G.F et al. Temperatura de globo negro a partir de dados meteorológicos e análise bioclimática do Nordeste brasileiro para caprinos Saanen. **Jornal de biologia térmica**, v. 85, p. 102408, 2019.

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

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

- ABREU, P. G. **State, Brazil. Environ Dev Sustain** 25, 855–878 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10668-021-02082-9>
- DIAS E SILVA, T. P., & DE SOUSA JÚNIOR, S. C. Produção de leite de vacas submetidas a diferentes períodos de exposição à radiação solar no sul do Piauí. **Agrarian**, 6(21), 320–325. 2013. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/2103> acesso em: 20 Dez. 23
- DIMICELI, V. E.; PILTZ, F. S.; STEVE A. AMBURN, S. A. Black Globe Temperature Estimate for the WBGT Index. **IAENG Transactions on Engineering Technologies**, v170, 2013.
- DOS SANTOS, MM, SOUZA-JÚNIOR, JBF, DANTAS, MRT *et al.* Uma revisão atualizada sobre termorregulação bovina: respostas fisiológicas, mecanismos biofísicos e vias de alívio do estresse térmico. **Environ Sci Pollut Res** 28, 30471–30485 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14077-0>
- EMBRAPA, GADO DE LEITE. Produção de leite no Sudeste do Brasil. 2012. <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteSudeste/aspectos.htm>>
- GDP – Global Dairy Platform. Annual Review 2016. Rosemont, IL, [2017]. Disponível em: . Acesso em: <<https://www.globaldairyplatform.com/wp-content> > 10 dez. 2023
- GOMES, R. C. C. et al. Predição do índice de temperatura do globo negro e umidade e do impacto das variações climáticas em galpões avícolas climatizados. **Ciência Rural**, v. 41, p. 1645-1651, 2011.
- HAJIZADEH, R; DEGHAN, S.R.; GOLBABAIEI, F. et al. Offering a model for estimating black globe temperature according to meteorological measurements. **Royal Meteorological Society** v24, p.303-307, 2017..
- HOTT, M. C., DA ROCHA, D. T., CARVALHO, G. R., et al. Leite no Brasil: distribuição espacial e concentração. **Embrapa** (2022).
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geografia do Brasil. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/bibliotecacatalogo?view=detalhes&id=287913> Acesso em: 13 novembro-2023.
- IRANO, N.; BIGNARDI, A. B, REY, F. S. S.; , et al.. Parâmetros genéticos para a produção de leite em caprinos das raças Saanen e Alpina, **Revista Ciência Agrônômica**, v.43, n. 2, p. 376-381, 2012

Köppen, W. (1936). Das geographische System der Klimate (Vols. 1, Parte C, en Handbuch der Klimatologie). (W. Köppen, & G. Geiger, Edits.) Berlin: Gebrüder Borntraeger. Disponível em: http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Koppen_1936.pdf. acesso em: 20/12/24

LEMKE, B.; KJELLSTROM, T. Calculating workplace WBGT from meteorological data: a tool for climate change assessment. **Ind Health**, v.50: p.267–278, 2012.

LÔBO, R. N. B.; SILVA, F. L. R. Parâmetros genéticos para características de interesse econômico em cabras das raças Saanen e Anglo-nubiana. **Revista Ciência Agronômica**, v. 36, n. 01, p. 104-110, 2005.

MACHADO, L.C.P. Instalações para suínos. *Suínocultura Industrial*, v.7, n.75, p.6-14, 1985.

MARCELINO, R A; et al., Importância do conforto térmico para o rebanho leiteiro: Radiação solar e altas temperaturas são elementos estressantes responsáveis por baixa performance. Maringá-Paraná: Ipec, 7f, p.1, 2017. Disponível em: <https://escoladenutricaoanimal.com.br/importancia-do-conforto-termico-para-o-rebanho-leiteiro>. Acesso em: 10 set. 2023

MCMANUS, S.; BEBBINGTON, P.; JENKINS, R.; BRUGHA, T. Mental health and wellbeing in England: adult psychiatric morbidity survey 2014. **Leeds: NHS Digital**, 2016.

MEDEIROS, L. F. D.; VIEIRA, D. H. Bioclimatologia animal. Instituto de Zootecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 126p, 1997. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/bioclimatologiaanimal/files/2011/03/Apostila-de-Bioclimatologia-Animal.pdf> acesso em: 20 Dez. 23.

MENDES, A. M. P. **Índice de conforto térmico e zoneamento bioclimático para ovinos da raça dorper no estado de Pernambuco**. Tese (Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. f.161, 2014.

MOSCONI, N A. et al. Conforto térmico em sistema silvipastoril com núcleos arbóreos em fase de implantação. 2022.

NÄÄS, I. A. Biometeorologia e construções rurais em ambiente tropical. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, II. Anais... Goiânia, **Sociedade Brasileira de Biometeorologia**, 1998. 63-73 p. , Goiânia, 1998

NAVARINI, F. C. et al. Conforto térmico de bovinos da raça nelore a pasto sob diferentes condições de sombreamento e a pleno sol. **Engenharia Agrícola**, NAVARINI, F. C., KLOSOWSKI, E. S., CAMPOS, A. T., et al.. Conforto térmico de bovinos da raça nelore a

pasto sob diferentes condições de sombreamento e a pleno sol. **Engenharia Agrícola**, v. 29, p. 508-517, 2009.

ONU - Organização das Nações Unidas (2019). **World Population Prospects**. Disponível em: [ABREU, P. G.](#). Acesso em: 20/12/2023 p.63-73 1998.

PEREIRA, J.C.C. Fundamentos de Bioclimatologia Aplicados a Produção Animal. **Belo Horizonte: FEPMZ-Editora**, p.195, 2005. Disponível em:

<https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca> acesso em: 01 dez. 2023.

ABREU, P. G. PEREIRA, K.C.B.; CARVALHO, C.C.S.; RUAS, J.R.M. et al. Effect of the climatic environment on ingestive behavior of F1 HxZ cows. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.** v.19, p.100-108, 2018.

PEZZOPANE, J. R. M.; NICODEMO, M. L. F.; BOSI, C.; et al. Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. **Journal of Thermal Biology**. v79, p.103-111, 2019.

SEJIAN V, BHATTA R, GAUGHAN J. B., et al. Review: Adaptation of animals to heat stress. **Animal**. V.12 p.431-444, 2018. <https://doi.org/10.3390/atmos13101642>.

SEJIAN V, SHASHANK C. G., SILPA MV, et al. Métodos não invasivos de quantificação da resposta ao estresse térmico em animais de fazenda com referência especial a gado leiteiro. **Atmosfera** . 2022;

SILVA, E.M.N. et al. Avaliação da adaptabilidade de caprinos ao semi-árido através de parâmetros fisiológicos e estruturas do tegumento. **Revista Caatinga**, v.23, n.2, p.142-148, 2018.

SINGH, K.M.; SINGH, S.; GANGULY, I.; GANGULY, A. et al. Evaluation of Indian sheep breeds of arid zone under heat stress condition. **Small Ruminant Res.**, v.141, p.113-117, 2016.

SOUZA, B. B. de et al. Parâmetros fisiológicos e índice de tolerância ao calor de bovinos da raça Sindi no semi-árido paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 883-888, 2007.

YANAGI JUNIOR, T. Inovações Tecnológicas Na Bioclimatologia Animal Visando A Aumento Da Produção Animal: Relação Bem-Estar Animal X Clima. **Infobibos: Informações Tecnológicas**, 2006. Disponível em:

<https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/246/190> acesso em: 20/12/23.

ZAMBOM, M. A; ALCALDE, C. R.; MARTINS, E. N., et. al. Produção, composição do leite e variação do custo e da receita de produção de leite de cabras Saanen recebendo rações com casca de soja em substituição ao milho. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 34, n. 3, p. 1313-1326, 2013.