

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO - UFMA
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA - CCCH
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

JOÃO PEDRO TEIXEIRA VIEIRA

**ÍNDICE DE TEMPERATURA E UMIDADE PARA O ESTADO DO MARANHÃO,
BRASIL: TENDÊNCIA, FATORES INFLUENCIADORES E MEDIDAS
MITIGADORAS**

CHAPADINHA - MA

2022

JOÃO PEDRO TEIXEIRA VIEIRA

**ÍNDICE DE TEMPERATURA E UMIDADE PARA O ESTADO DO MARANHÃO,
BRASIL: TENDÊNCIA, FATORES INFLUENCIADORES E MEDIDAS
MITIGADORAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à coordenação do curso de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Maranhão como requisito indispensável para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Jordânio Inácio Marques

Coorientador: Prof. Dr. Patrício Gome Leite

CHAPADINHA – MA

2022

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

Vieira, João Pedro Teixeira.

ÍNDICE DE TEMPERATURA E UMIDADE PARA O ESTADO DO
MARANHÃO, BRASIL: TENDÊNCIA, FATORES INFLUENCIADORES E
MEDIDAS MITIGADORAS / João Pedro Teixeira Vieira. - 2022.
40 f.

Coorientador(a): Patrício Gomes Leite.

Orientador(a): Jordânio Inácio Marques.

Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do
Maranhão, Chapadinha, 2022.

1. Análise de Tendência. 2. Conforto térmico. 3.
Variáveis Climáticas. I. Leite, Patrício Gomes. II.
Marques, Jordânio Inácio. III. Título.

JOÃO PEDRO TEIXEIRA VIEIRA

**ÍNDICE DE TEMPERATURA E UMIDADE PARA O ESTADO DO MARANHÃO,
BRASIL: TENDÊNCIA, FATORES INFLUENCIADORES E MEDIDAS
MITIGADORAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à coordenação do curso de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Maranhão como requisito indispensável para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Aprovado em: 23 de dezembro de 2022

Comissão examinadora

Prof. Dr. Jordânio Inácio Marques
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

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

Prof. Dr. Nítalo André Farias Machado
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

“A Deus, por ser essencial em minha vida, sem ele nada seria possível, e à minha família, em especial, meus pais e irmãos, a grande força deles foi a motopropulsora que permitiu o meu avanço”

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus por me iluminar durante toda essa caminhada, por me dar saúde e forças para chegar até o final, principalmente por me carregar no colo quando não tinha mais forças para continuar.

Aos meus pais, Margareth Vieira e Nelson Vieira, meus irmãos, Karolyne, Juanna e Jonas, meu avô, João, por todo amor e paciência que tiveram durante esses anos e que apesar das dificuldades, não mediram esforços para que hoje eu pudesse estar aqui, realizando um sonho que não é só meu, mas de toda a família. Amo vocês. Eu tenho a melhor família que alguém poderia ter. Aos meus amados sobrinhos, Isabel e José, a minha linda namorada, Aline Mendes, que tem me ajudado todos esses dias incansavelmente, apoiando e dando forças para continuar e a minha linda e amada vovó, Joana (*in memoriam*) que me amou e apoiou, até o seu último dia de vida.

Aos funcionários, corpo docente e discente do Centro de Ciências de Chapadinha (CCCH) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), a quem fico lisonjeado por dele ter feito parte, sou grato pela oportunidade concedida para a minha formação profissional.

Aos meus familiares que não são de sangue, mas que amo como se fossem, que me acompanham e me apoiam desde o início, a tia Tereza, tia Cleonice e a Daniele. A minha madrinha Genicleidy, que sempre me apoiaram desde o início. Ao vovô Brandão e a madrinha Gorete que nos amam de uma forma inexplicável, e que em momento algum duvidou da minha capacidade. Grato aos tios Serra, Neto e Fátima pelo carinho. Aos meus sogros, Luís Mendes e Elenice, que se tornaram muito próximos de toda minha família.

Agradeço aos meus colegas da faculdade, em especial aos meus amigos Arlindo, Matheus, Aurelio, Caio, Elvis, Janine, Tamara, Leticia e aos demais colegas que desde o início compartilhamos ideias e vivências.

Ao meu orientador prof. Dr. Jordânio Inácio Marques, pelo incentivo, dedicação, e as valiosas contribuições dadas durante todo o processo. Ao meu coorientador, Patrício Gomes Leite por toda paciência e ensinamento. Aos professores, pelos ensinamentos, e experiência vividas e que contribuíram para minha formação acadêmica, em especial a que aceitaram estar presentes na banca.

As muitas outras pessoas que de alguma forma contribuiu para essa conquista, meu muito obrigado!

*“O sucesso é a soma de pequenos esforços
repetidos dia após dia.”*

(Robert Collier)

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Representação das mesorregiões, microrregiões e limites do Estado do Maranhão.
Fonte: SCHLESINGER et al. (2008)20
- Figura 2** - Localização das 12 (estações) meteorológicas no Estado do Maranhão (INMET).
Fonte: SANTOS et al. (2015)21
- Figura 3** - Tendência e percentual de influência interanual das variáveis climáticas sobre o Índice de Temperatura e Umidade por mesorregião do Maranhão.....26
- Figura 4** - Figura 4: Tendência e percentual de influência no período chuvoso das variáveis climáticas sobre o Índice de Temperatura e Umidade por mesorregião do Maranhão.....29
- Figura 5** - Tendência e percentual de influência no período seco das variáveis climáticas sobre o Índice de Temperatura e Umidade por mesorregião do Maranhão.....31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Código, clima e meses mais chuvosos e secos para as estações.....	22
Tabela 2- Divisão dos municípios por mesorregião	22
Tabela 3- Tendência do ITU durante o período interanual, em que Z representa a tendência e β a inclinação da tendência para todas as mesorregiões do Maranhão.....	25
Tabela 4- Coeficientes obtidos na regressão linear múltipla dos dados normalizados das variáveis climáticas durante o período interanual	25
Tabela 5- Tendência do ITU durante o período chuvoso, em que Z representa a tendência e β a inclinação da tendência para todas as mesorregiões do Maranhão.....	28
Tabela 6- Coeficientes obtidos na regressão linear múltipla dos dados normalizados das variáveis climáticas durante o período chuvoso.....	28
Tabela 7- Tendência do ITU durante o período seco, em que Z representa a tendência e β a inclinação da tendência para todas as mesorregiões do Maranhão	30
Tabela 8- Coeficientes obtidos na regressão linear múltipla dos dados normalizados das variáveis climáticas durante o período seco.....	30
Tabela 9 - Variação dos valores de ITU para as mesorregiões do Maranhão no período interanual, chuvoso e seco	32

RESUMO

O clima é um fator determinante para obter a eficiência produtiva na produção pecuária, portanto, as interações animal-ambiente devem ser consideradas e esclarecidas, considerando às especificidades micrometeorológicas regionais. O objetivo com este estudo foi determinar a tendência e o percentual de influência das variáveis climáticas sobre o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), considerando o período interanual, chuvoso e seco, para as mesorregiões do Maranhão. As variáveis de temperatura (TA °C), umidade relativa (UR %), insolação (I) e velocidade do vento (Vv), foram coletados pelas estações meteorológicas do IMET no Maranhão, compreendidos no período entre 1991 a 2021. Para o cálculo do ITU, utilizou-se a equação proposta por Thom e para a ocorrência ou não de tendência do foi determinada pelo método de Mann-Kendall nos períodos estudados. Foi observado que houve Tendência crescente do ITU para todas as mesorregiões do Maranhão. A variável (TA °C) foi a variável que apresentou maior percentual de contribuição no aumento do ITU, seguida pela (UR %), as variáveis de insolação e velocidade do vento não tiveram contribuições significativas. Para bovinos, o ambiente é considerado de alerta, e acima do índice crítico para a produção de leite para os três períodos analisados do Maranhão.

Palavras-chave: Análise de Tendência; Variáveis Climáticas; Conforto térmico.

ABSTRACT

The climate is a determining factor to obtain productive efficiency in livestock production, therefore, as a peaceful animal environment, it must be thought and clarified, considering the regional micrometeorological specificities. The objective of this study was to determine the trend and percentage of influence of climatic variables on the Temperature and Humidity Index (THI), considering the interannual, rainy and dry period, for the mesoregions of Maranhão. The variables of temperature (TA °C), relative humidity (UR %), insolation (I) and wind speed (Vv), were collected by IMET meteorological stations in Maranhão, covering the period between 1991 and 2021. THI was calculated using Thom's proposal and the occurrence or not of a trend was determined by the Mann-Kendall method in the experiments studied. It was observed that there was an increasing trend of THI for all Maranhão mesoregions. The variable (TA °C) was the variable that showed the highest percentage of contribution to the increase in THI, followed by (UR %), the variables of insolation and wind speed had no contributions. For cattle, the environment is considered alert, and above the critical index for milk production for the three periods analyzed in Maranhão.

Keyword: Trend Analysis; Climate Variables; Thermal comfort.

1. SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Pecuária no Maranhão.....	14
2.2 Ambiente térmico.....	15
2.3 Índice de Temperatura e umidade	16
2.4 Adaptação animal.....	17
2.5 Bovinos	18
3. OBJETIVO	19
3.1 Objetivo Geral.....	19
4. MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1 Caracterização da área de estudo	20
4.2 Coleta de dados	21
4.3 Identificando os períodos chuvoso e seco	21
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5.1 Tendência do ITU e variáveis influenciadoras durante o período interanual	25
5.2 Tendência do ITU e variáveis influenciadoras durante o período chuvoso	28
5.3 Tendência do ITU e variáveis influenciadoras durante o período seco	29
5.4 Medidas mitigadoras	32
6. CONCLUSÃO	35
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1. INTRODUÇÃO

O clima é um fator predominante no setor agropecuário, sobretudo, em regiões tropicais. As mudanças no clima podem intensificar o estresse térmico em decorrência de alterações no balanço de energia térmica entre o animal e o ambiente, o qual é influenciado pelos fatores ambientais (radiação, temperatura, umidade relativa e velocidade do vento) e mecanismos de termorregulação (condução, radiação, convecção e evaporação) (SIROHI & MICHAELOWA, 2007).

O baixo desempenho produtivo animal da Região Nordeste está relacionado, muitas vezes, às condições climáticas, às quais os animais são submetidos. De acordo com Silva et al. (2015), as variáveis climáticas que mais interferem na vida dos animais homeotérmicos é a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar, já que juntas, essas variáveis afetam diretamente as perdas evaporativas de calor, interferindo na termorregulação e com isso, no desempenho e na produção animal. Starling et al. (2005), associam o baixo desempenho dos rebanhos nas regiões tropicais ao conjunto dos elementos meteorológicos estressantes: temperatura do ar elevada, alta umidade relativa do ar e radiação solar intensa.

Outro fator que influencia na produção animal é a capacidade de adaptabilidade dos animais à região semiárida nordestina, principalmente quando se trabalha com raças nativas, é fundamental que o fator climático seja levado em consideração, pela sua vulnerabilidade às alterações do clima, com períodos irregulares de chuva e secas prolongadas, que são intensificados pelas elevadas temperaturas do ar, altos níveis de insolação e evaporação e, durante o período seco, pela baixa umidade relativa do ar (SANTOS et. al., 2005).

Para avaliação das diferentes condições ambientais que os animais são criados, vem sendo desenvolvidos índices ambientais que consideram os parâmetros microclimáticos, como temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, radiação solar, entre outros (MADER, 2006). A determinação desses valores tem o objetivo de caracterizar o ambiente e possivelmente indicar quais os reflexos nos parâmetros fisiológicos, metabólicos e produtivos dos animais, buscando uma ferramenta que auxilie nas tomadas de decisões no manejo (BUFFINGTON, 1981).

Dentre os índices desenvolvidos, o mais utilizado foi o índice de temperatura e umidade (ITU), primeiramente desenvolvido por Thom (1958) e adaptado posteriormente por diversos autores, para a avaliação de animais de produção, cuja fórmula relaciona os efeitos da

temperatura e umidade relativa do ar sobre o bem-estar animal.

Para cada espécie animal, existe uma faixa de condição ambiental denominada zona de conforto térmico, na qual o animal apresenta os melhores resultados com o menor gasto energético e mínimo esforço dos mecanismos termoregulatórios, possibilitando melhor conversão alimentar, rápido crescimento corporal e menor mortalidade, podendo variar em função da sua constituição genética, idade, sexo, peso, dieta e aclimatação (TINOCO, 1998).

No Brasil, as principais raças comerciais tiveram os locais de origem e seleção diferentes das condições de criação, sendo necessário alterar o ambiente natural para a manutenção dos rebanhos. Devido às mudanças no clima, é fundamental a adaptação das práticas utilizadas pelos pecuaristas (MCMANU et al., 2012).

Diante do exposto, objetivou-se nesse trabalho analisar a tendência e as variáveis que influenciam no Índice de Temperatura e Umidade nas cinco mesorregiões do Maranhão durante os períodos interanual, chuvoso e seco, para assim, propor medidas mitigadoras e atingir melhores índices de produtividade com adequação do ambiente.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Pecuária no Maranhão

O Estado do Maranhão possui o 12º maior rebanho bovino do país e o segundo maior rebanho bovino do Nordeste com efetivo de 8.561.509 cabeças, (IBGE,2022). Segundo Dourado (2008), a produção bovina em sua maior parte é em sistema extensivo e o grau de tecnologia utilizada ainda é variada, segundo o autor, alguns produtores abatiam animais com 24 meses de idade, já outros aos 36 meses ou até mais, a raça que predominava para corte era a raça Nelore que também era utilizada para exploração do leite, municípios como Santa Inês, Bacabal e Açailândia apresentam modernos sistemas de manejo, como a genética melhorada.

Os dez Municípios do Estado do Maranhão com maior número efetivo de rebanho bovino são: Açailândia com 348.427cabeças, Amarante 285.734, Arame 254.985, Barra do Corda 208.777, Bom Jardim 163.045, Bom Jesus das Selvas 157.668, Buriticupu 152.677, Grajaú 149.985, Santa luzia 142.802, Sítio Novo 142.268, (IBGE, 2022). A bovinocultura nesses municípios está destinada tanto para a produção de carne, como para produção de leite.

A mesorregião Oeste encontra-se a vertente oriental das bacias do Gurupi, do médio curso do Grajaú, do alto e do médio curso do Pindaré e do rio Tocantins, por conta dos

elementos naturais e da abundância em terras ricas e com diversas aptidões para a sua utilização a mesorregião se destaca com a produção de vários produtos alimentares, além da utilização das terras para o extrativismo, por conta disso, a mesorregião é destaque na criação de gados e possui o maior número efetivo de rebanho bovino do Estado, os mesmo são criados em sistemas extensivos. (IBGE, 1992).

A mesorregião Centro é uma das áreas mais antigas do povoamento interior maranhense, possui uma população rural elevada e a mesorregião se destaca pela produção agropecuária, a atividade da pecuária predomina em sistema de criação extensiva nos cerrados o que influenciou a diminuição na produção das culturas de arroz, feijão e milho. (IBGE, 1992). A mesorregião está na segunda colocação com o maior número efetivo de rebanho bovino do Maranhão.

Em regiões que apresentam elevadas temperaturas, como o Nordeste brasileiro pode vir a causar alterações comportamentais, além de comprometer o desempenho produtivo e reprodutivo dos animais devido sua limitada capacidade de dissipação de calor. Para evitar tal desconforto térmico é de grande importância conhecer/ou identificar as variáveis climáticas que influenciam diretamente no desempenho do animal na forma de estresse térmico, para que haja a execução de medidas atenuantes (CECCHIN et al., 2016).

O Maranhão situa-se no nordeste brasileiro numa zona de transição entre os biomas amazônico e o cerrado, e está em crescente expansão da atividade agropecuárias. Esse estado possui características bastante favoráveis para as atividades desenvolvidas dentro do setor agropecuarista, pois em relação às suas características hídricas e climatológicas possuem um total de 90% do seu território adequado para o desenvolvimento de tais atividades (MARTINS, 2019).

Um dos principais limitantes para a manutenção do bem-estar dos animais de produção, no Brasil, é o estresse térmico, que ocorre em detrimento do calor e do frio. O estresse por calor representa um dos principais limitantes da produtividade no Brasil, onde regiões tropicais predominam em sua maior parte. O conhecimento da capacidade fisiológica de adaptação dos animais a estas condições é importante, para assegurar a máxima produtividade do plantel que por sua vez está ligada ao bem-estar dos animais (NUNES et al., 2016).

2.2 Ambiente térmico

Um ambiente é considerado confortável quando o animal está em equilíbrio térmico

com ele, ou seja, o calor produzido (termogênese) pelo metabolismo animal é perdido (termólise) para o meio ambiente sem prejuízo apreciável ao seu rendimento. Quando isso não ocorre, caracteriza-se estresse por calor e o uso de artificios capazes de manter o equilíbrio térmico entre o animal e o ambiente faz-se necessário (PIRES & CAMPOS, 2009).

A pecuária é uma atividade altamente dependente dos fatores climáticos, cujas alterações podem afetar a produtividade e o manejo dos animais. O desempenho produtivo e reprodutivo destes animais diminui consideravelmente, principalmente durante o verão, quando a temperatura ambiente e umidade relativa do ar atingem o pico (PIRES, 2006).

Para a sobrevivência e a produção dos animais é essencial que eles sejam eficientes em manter sua temperatura corporal, nos limites da sua zona de conforto. Este processo é chamado de homeotermia, que é a conservação da temperatura corporal constante, mesmo que ocorram oscilações da temperatura do ambiente (AZEVEDO, 2007).

Segundo Silva et al. (2005), a produtividade dos animais é afetada direta e indiretamente pelo clima, portanto, o uso de meios atenuantes que proporcionem as melhores condições de sobrevivência aos animais em meios desfavoráveis que constituem situações de estresse é imprescindível.

Mader et al. (2010), dão ênfase aos efeitos ambientais, existe vários índices que correlacionam os efeitos da temperatura ambiente com a umidade relativa, velocidade do vento e radiação solar, com o intuito de desenvolver funções de resposta biológica, relacionados com a troca de energia e auxiliar no processo de tomada de decisão, que dependem das condições meteorológicas, podendo também servir como parâmetro de gestão para mitigar os efeitos ambientais para assegurar e proteger o conforto dos animais.

2.3 Índice de Temperatura e Umidade

Na tentativa de estabelecer critérios para a classificação dos ambientes, foram desenvolvidos diversos índices de conforto térmico que visam a englobar, em um único parâmetro, o efeito conjunto dos elementos meteorológicos e do ambiente construído sobre o indivíduo estudado, humano ou animal, como o Índice de Temperatura e Umidade, conhecido como - ITU (THOM, 1959). Apesar de existirem índices de conforto térmico mais completos que o ITU, esse tem sido muito utilizado por envolver apenas informações meteorológicas normalmente disponíveis em estações meteorológicas e em bancos de dados obtidos a partir de imagens de satélite (DE OLIVEIRA et al., 2006).

Os índices de conforto térmico combinam dois ou mais parâmetros climáticos, buscando determinar a sua influência sobre o conforto, e caracterizar distintos ambientes térmicos. Por terem sido desenvolvidos a partir de dados específicos e controle peculiar de ambiente, cada parâmetro possui um determinado peso dentro do índice, conforme sua importância relativa. A escolha dos índices, para a determinação do conforto térmico, está relacionada diretamente com a atividade desenvolvida pelo animal e sua idade, com as condições do ambiente em questão e com a importância desses aspectos (SAMPAIO et al., 2004; HUYNH et al., 2005; SANTOS et al., 2009).

O Índice de Temperatura e Umidade (ITU) proposto por Thom (1958), é o mais utilizado para a determinação do conforto térmico ambiental, onde o mesmo associa a temperatura de bulbo seco (TBS) e a temperatura do bulbo úmido (TBU), tendo outras variações que substituem TBU por valores equivalentes de temperatura de ponto de orvalho (TPO), conforme utilizaram Santos et al. (2009) e Oliveira et al. (2011).

A umidade relativa (UR) indica quanto o ar está próximo da saturação em vapor de água, em porcentagem, pela relação entre pressão parcial de vapor de água e a pressão de saturação de vapor da água, influenciada pela temperatura do ar. Esta quando baixa, causa desidratação e irritação na pele e mucosas, predispondo o animal a várias patologias. No caso de umidade alta, ocorre uma diminuição da perda de calor corporal para o meio, comprometendo o equilíbrio térmico e favorecendo, juntamente com outros fatores climáticos, o aumento de agentes vetores de patologias. Souza et al., (2002), consideram como confortáveis os ambientes com umidade relativa entre 60 e 70.

Segundo Baêta (1985), o ITU pode ser classificado da seguinte forma: < 74 = conforto; $74 - 78$ = alerta; $79-84$ perigo e >84 = emergência. Em condições de ITU superior a 70 os animais começam a acionar os mecanismos fisiológicos para manter o equilíbrio interno, principalmente de temperatura e de balanço hídrico.

2.4 Adaptação animal

Quando os animais são continuamente expostos às mudanças do meio ambiente, eles podem desenvolver mudanças estruturais e funcionais que resultam em um aumento na sua capacidade de viver neste ambiente, sem estresse. Estas mudanças são coletivamente designadas de aclimatização. Certas condições ambientais podem resultar em pouco ou nenhum distúrbio para um ser vivo em particular enquanto outras podem ser tão severas que a sua sobrevivência estará na dependência da sua habilidade em se adaptar às mesmas (ROCHA,

2016).

Os bovinos sob condições de estresse térmico procuram em primeiro lugar a sombra, mas utilizam também a água para imersão. Principalmente os bovinos europeus, por serem 36 menos tolerantes ao estresse calórico. A água é um meio importante para dissipação de calor através da condução. Verificou-se que animais de raças europeias, frente à disponibilidade de sombra e água, utilizaram os recursos disponíveis contra o calor durante grande parte do dia, especialmente nos horários de temperaturas mais elevadas, sendo a sombra o recurso mais utilizado, porém a água também foi utilizada. As atividades de ruminção e ócio ocorreram com maior frequência quando os animais estavam deitados à sombra (GLASER, 2008).

Segundo Oliveira et al. (2013) a adaptabilidade dos animais homeotérmicos às condições de estresse térmico pode ser mensurada por meio da observação de algumas respostas fisiológicas e de produção, por meio da verificação da temperatura retal, frequência respiratória e ganho de peso, como forma de estimar esta tolerância. Através do acompanhamento dessas respostas fisiológicas é possível inferir a condição do animal em relação ao ambiente e como seu organismo modula respostas para adequar o metabolismo a condição de estresse (FIGUEIREDO et al., 2013).

A adaptação genética refere-se a uma seleção natural ou pelo homem, ao passo que a adaptação fisiológica ocorre em um indivíduo dentro de um curto ou longo prazo (adaptação somática), já a adaptação fisiológica, implica na capacidade e processo de ajustamento do animal a si mesmo e ao seu meio ambiente. Os animais bem adaptados a um determinado meio ambiente apresentam algumas características que os diferenciam dos animais menos adaptados: manutenção ou pequena perda de peso durante estresse geral, principalmente o calórico, alta taxa reprodutiva, alta resistência a doenças e parasitos, baixa taxa de mortalidade e longevidade, (MEDEIROS, 1997).

2.5 Bovinos

Por características geográficas e culturais a maior parte dos bovinos destinados à produção de carne são criados, recriados e terminados à pasto, ou seja, os animais recebem influência direta do ambiente sob os quais estão inseridos (AGUIAR, 2013). O Brasil está localizado em sua maior parte entre a Linha do Equador e o Trópico de Capricórnio, onde predominam altas temperaturas devido à elevada radiação solar incidente (AZEVEDO; ALVES, 2009). Sendo assim, na maior parte do dia a temperatura ambiente é maior que a temperatura

crítica superior tolerada pelos bovinos, ultrapassando a zona de termoneutralidade da espécie (SOUZA JUNIOR, 2008).

A perda de temperatura corporal para o meio ambiente é determinada por alguns processos. São eles a condução, convecção e radiação (calor sensível), evaporação, via transpiração e respiração (calor latente). Assim, a hipertermia ocorre quando o fluxo de calor para o ambiente é menor que o calor produzido pelo organismo (BEEDE & COLLIER, 1986). Quando os animais se encontram na zona de termoneutralidade os custos fisiológicos são mínimos e a produtividade aumenta (SILVA, 2000).

Ao tentar manter a termoneutralidade, os animais fazem uso de diversos mecanismos comportamentais e fisiológicos, quando é calor os animais prostram-se e abrigam-se da radiação solar sob coberturas que proporcionem sombras, tais animais vão em busca de lâminas de água e/ou terrenos úmidos para que se deitam, diminuem a ingestão de alimentos, conseqüentemente aumentam a ingestão de água, bem como aumentam os batimentos cardíacos, a circulação periférica e a taxa de respiração e de sudorese.

Entre os projetos mais executados no Maranhão ao longo das décadas analisadas, destacou-se a criação de gado bovino, cuja principal referência era a pastagem de gramíneas plantada em grandes áreas. Esse modelo de criação ainda vigora até hoje em muitas regiões do Estado, seja com pequenos, médios ou grandes criadores, apesar de mudanças terem ocorrido entre grupos de produtores ou entre produtores individuais. Os principais motivos para essas mudanças foram a redução da área disponível para a criação e a importância da carne para a economia maranhense (SANTOS, 2010).

Os bovinos são classificados como homeotérmicos e endotérmicos. Bicego (2020) definiu animais homeotérmicos como sendo aqueles capazes de sustentar sua temperatura corporal interna constante, mesmo com variação térmica do ambiente. Animais endotérmicos, conforme Bicego e Gargaglioni (2020), são os que utilizam de fonte de calor endógeno para manter suas funções metabólicas e usam de mecanismos comportamentais e autonômicos para realizar sua termorregulação.

3. OBJETIVO

3.1 Objetivo Geral

Analisar a tendência e as variáveis que influenciam no Índice de Temperatura e Umidade nas cinco mesorregiões do Maranhão durante os períodos interanual, chuvoso e seco.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O Estado do Maranhão abrange uma área de 329.651,496 km² e a população do Estado é estimada em 7.153.262 pessoas (IBGE, 2021), correspondendo a uma densidade populacional de 19,81hab/km², com 63,1% da população vivendo em áreas consideradas urbanas (4.147.149habitantes). O Estado, se encontra numa posição privilegiada entre três macrorregiões brasileiras: Norte (Amazônia), Centro, Oeste (Cerrado) e Nordeste (Semiárido), e, portanto, reúne características fitogeográficas e climatológicas características dessas áreas (MARANHÃO, 2002).

De acordo com o método de classificação climática de Köppen (ÁLVARES et al., 2013), o Maranhão possui três tipos climáticos: o Am –zona tropical com período monção (fevereiro a maio), caracterizado por apresentar a precipitação média do mês mais seco inferior a 60 mm e média total anual ≥ 3300 mm, o As –regiões tropicais com o verão seco e o Aw – zona tropical com o inverno seco, abrangendo maior parte do estado, em que o período chuvoso mais acentuado acontece nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro com a média mensal acima de 250 mm. Todas as classificações possuem a temperatura acima ou igual a 18 ° C durante o ano todo.

O Estado possui cinco Mesorregiões Geográficas que correspondem ao Norte Maranhense, Oeste Maranhense, Centro Maranhense, Leste Maranhense e Sul Maranhense, subdivididas em 21 Microrregiões Geográficas, onde se encontram inseridos seus 217 municípios (NUGEO, 2016). Ao Sul e Sudoeste encontra-se com o Estado do Tocantins, a Oeste limita-se com o Estado do Pará e a Leste e Sudeste o Estado do Piauí, (Figura1).

Figura 1: Representação das mesorregiões, microrregiões e limites do Estado do Maranhão.

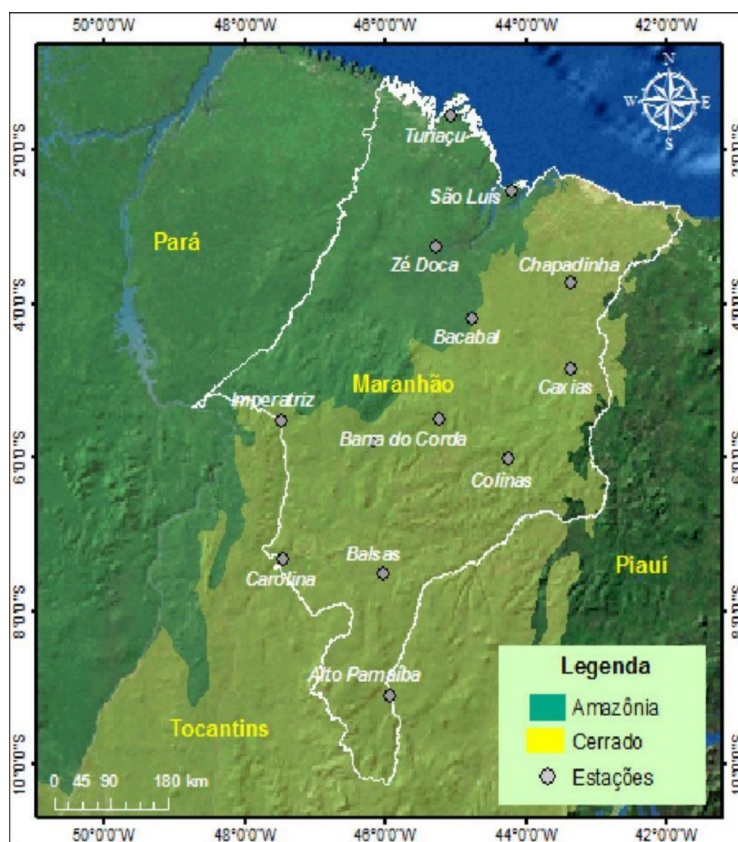


Fonte: SCHLESINGER et al. (2008).

4.2 Coleta de dados

Os dados climatológicos foram obtidos em 12 estações meteorológicas, (Figura 2) que estão disponíveis no Instituto Nacional de Meteorologia –INMET, gerados pelo Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP, distribuídas no Estado do Maranhão. Foram utilizados registros diários de dados de precipitação (mm), insolação (SD, h), umidade relativa (UR, %), velocidade do vento (W, ms⁻¹) e temperatura máxima e mínima (T, °C) para o período de 2000 a 2021.

Figura 2: Localização das 12 (estações) meteorológicas no Estado do Maranhão (INMET).



Fonte: SANTOS et al. (2015).

4.3 Identificando os períodos chuvoso e seco

O Maranhão apresenta temperaturas elevadas durante todo o ano, com chuvas irregulares e ocorrência de estiagem prolongada; portanto, os períodos de seca e chuva são bem definidos como os quatros primeiros meses mais chuvosos e os outros quatros menos chuvosos de acordo com as respectivas classificações climáticas de Koppen.

Tabela 1 – Código, clima e meses mais chuvosos e secos para as estações.

Estação	Código das Estações	Clima	Chuvoso	Seco
Alto Parnaíba	A223	Aw	Dezembro – Março	Junho – Setembro
Bacabal	A220	Aw	Janeiro – Abril	Julho – Outubro
Balsas	A204	Aw	Dezembro – Março	Junho – Setembro
Barra do Corda	A221	Aw	Janeiro – Abril	Junho – Setembro
Carolina	A205	Aw	Dezembro – Março	Junho – Setembro
Caxias	A237	Aw	Janeiro – Abril	Julho – Outubro
Chapadinha	A206	Aw	Janeiro – Abril	Agosto – Novembro
Colinas	A222	Aw	Janeiro – Abril	Junho – Setembro
Imperatriz	A225	Aw	Janeiro – Abril	Junho – Setembro
São Luís	A203	Aw	Fevereiro – Maio	Agosto – Novembro
Turialva	A219	Aw	Fevereiro – Maio	Setembro-Dezembro
Zé Doca	A255	Aw	Janeiro – Abril	Agosto – Novembro

4.4 Divisão das estações meteorológicas por mesorregião

As estações meteorológicas estão subdivididas nas cinco mesorregiões do Maranhão, Tabela 2, após as coletas e tratamentos dos dados de cada município foi realizado a média para cada mesorregião com suas respectivas cidades.

Tabela 2 – Divisão dos municípios por mesorregião.

Mesorregiões	Municípios
Norte	São Luís
Leste	Caxias, Chapadinha e Colinas
Sul	Alto Parnaíba, Balsas, Carolina
Centro	Bacabal, Barra do Corda
Oeste	Imperatriz, Turialva e Zé Doca

4.5 Índice de Temperatura e Umidade (ITU)

A partir dos dados climáticos coletados, calculou-se a temperatura de ponto de orvalho, temperatura na qual a parcela de ar atinge a saturação apenas por resfriamento, em graus Celsius, Equação (1).

$$T_{po} = \frac{237,3 \left(\log U_r + \frac{7,5t}{237,3 + t} \right)}{7,5 - \log U_r - \frac{7,5t}{237,3 + t}} \quad (1)$$

Para $T \geq 0$ e a fração da UR.

O ITU foi calculado pela equação proposta por Thom (1958):

$$ITU = TA + (0,36 \times T_{po}) + 41,5 \quad (2)$$

4.6 Cálculo da tendência

O teste MK (MANN 1945; KENDALL 1975) é usado para determinar se um conjunto de dados contém tendências temporais estatisticamente significativas. Calculou-se a tendência (Z) da série ITU utilizando o teste MK onde a hipótese nula indica que não há tendência presente nos dados e a hipótese alternativa a existência de uma tendência que pode ser de aumento ou de diminuição na série de dados observados.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j - x_i) \quad (3)$$

Sendo n o número de pontos de dados, e os respectivos valores dos dados em séries de tempo i e j (j > i) e assinam dados por:

$$\text{sign}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{se } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{se } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{se } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{VAR}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (5)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

Onde S é o teste estatístico, VAR a variância de S, Z o teste estatístico padronizado, n o comprimento da série temporal. Os valores positivos de Z indicam tendências crescentes, enquanto valores negativos denotam tendências decrescentes. As tendências de teste são realizadas ao nível de significância específica. Neste trabalho será utilizado nível de significância de 5%.

Para estimar a magnitude (β) da inclinação da tendência da série foi utilizado a aplicação (SEN, 1968). A vantagem desse método é que limita a influência dos outliers sob a inclinação, sendo calculada pela Equação (7):

$$\beta = \text{mediana} \left(\frac{x_j - x_i}{j - i} \right), \forall j > i \quad (7)$$

4.7 Influência das variáveis

O índice ITU depende da temperatura e umidade, mas foi realizado um estudo das possíveis influências das variáveis de insolação (I), temperatura do ar (TA), umidade relativa (UR) e velocidade do vento no índice (Vv). O percentual de contribuição de cada variável climática seguiu a metodologia proposta por Zhang et al. (2011) e Ye et al. (2014).

A metodologia usa regressão linear múltipla para calcular a contribuição relativa de cada variável independente (I, TA, UR e Vv) para explicar a variável dependente (ITU), porém antes de aplicar a metodologia, os dados originais para ITU e as variáveis independentes foram normalizados pela Equação 8:

$$X_{in} = \frac{x_i - x_{i \min}}{x_{i \max} - x_{i \min}} \quad (8)$$

Onde:

X_{in} - Variável normalizada;

x_i , $x_{i \max}$ e $x_{i \min}$ - sequências de valores observados na série histórica (valor atual, valor máximo e valor mínimo, respectivamente).

O modelo geral de regressão múltipla é dado pela Equação 9:

$$Y_i = aX_{i1} + bX_{i2} + cX_{i3} + dX_{i4} \dots nX_{in} \quad (9)$$

Onde:

Y_i - Variável dependente;

X_{i1} , X_{i2} , X_{i3} , X_{in} - Variáveis independentes;

a, b, c, d - Coeficientes da regressão.

Baseado nos coeficientes de regressão, o percentual de influência (η , %) de cada variável (X_{in}) para explicar os valores do ITU (Y_i) pode ser estimada a partir da Equação 10.

$$\eta_{1,2,3,\dots,n} = \left(\frac{|a_{1,2,3,\dots,n}|}{|a_{1,2,3,\dots,n}| + |a_{1,2,3,\dots,n}| + |a_{1,2,3,\dots,n}| + |n|} \right) \times 100 \quad (10)$$

O percentual de contribuição das variáveis climáticas sobre o ITU foi aplicado aos períodos interanual, chuvoso e seco.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Tendência do ITU e variáveis influenciadoras durante o período interanual

Observa-se na Tabela 3, que houve significância tanto de tendência como de inclinação crescente de ITU para todas as mesorregiões do Maranhão. O Norte com tendência de (4,04), Centro (3,84), Leste (3,75) e Oeste Maranhense (3,31), obtiveram maiores tendências de acréscimo, respectivamente, e o Sul, apresentou menor tendência de acréscimo.

Tabela 3 - Tendência do ITU durante o período interanual, em que Z representa a tendência e β a inclinação da tendência para todas as mesorregiões do Maranhão.

Mesorregiões	Z	β
Norte	4,04	0,513
Leste	3,75	0,477
Sul	0,60	0,418
Centro	3,84	0,49
Oeste	3,31	0,422

Os resultados da análise de regressão linear múltipla interanual dos dados normalizados usados para determinar a influência das variáveis climáticas na ITU são apresentados na Tabela 4, a parte dos coeficientes obtidos por meio dessa análise, os percentuais de influência (%) das variáveis climáticas no ITU foram calculados usando a Equação 10 para todas as mesorregiões com suas respectivas estações meteorológicas.

Todas as mesorregiões tiveram coeficientes crescente para as variáveis TA (°C) e UR (%) mostrando contribuição direta para o aumento do ITU. Já as variáveis de I (h) e Vv ($m.s^{-1}$), tiveram coeficientes próximo a 0, indicando pouca ou nenhuma contribuição para a variável dependente, no entanto, a insolação contribuiu de forma positiva para as mesorregiões, exceto o Centro Maranhense, já a velocidade do vento, contribuiu de forma negativa, excerto a região Leste do Maranhão.

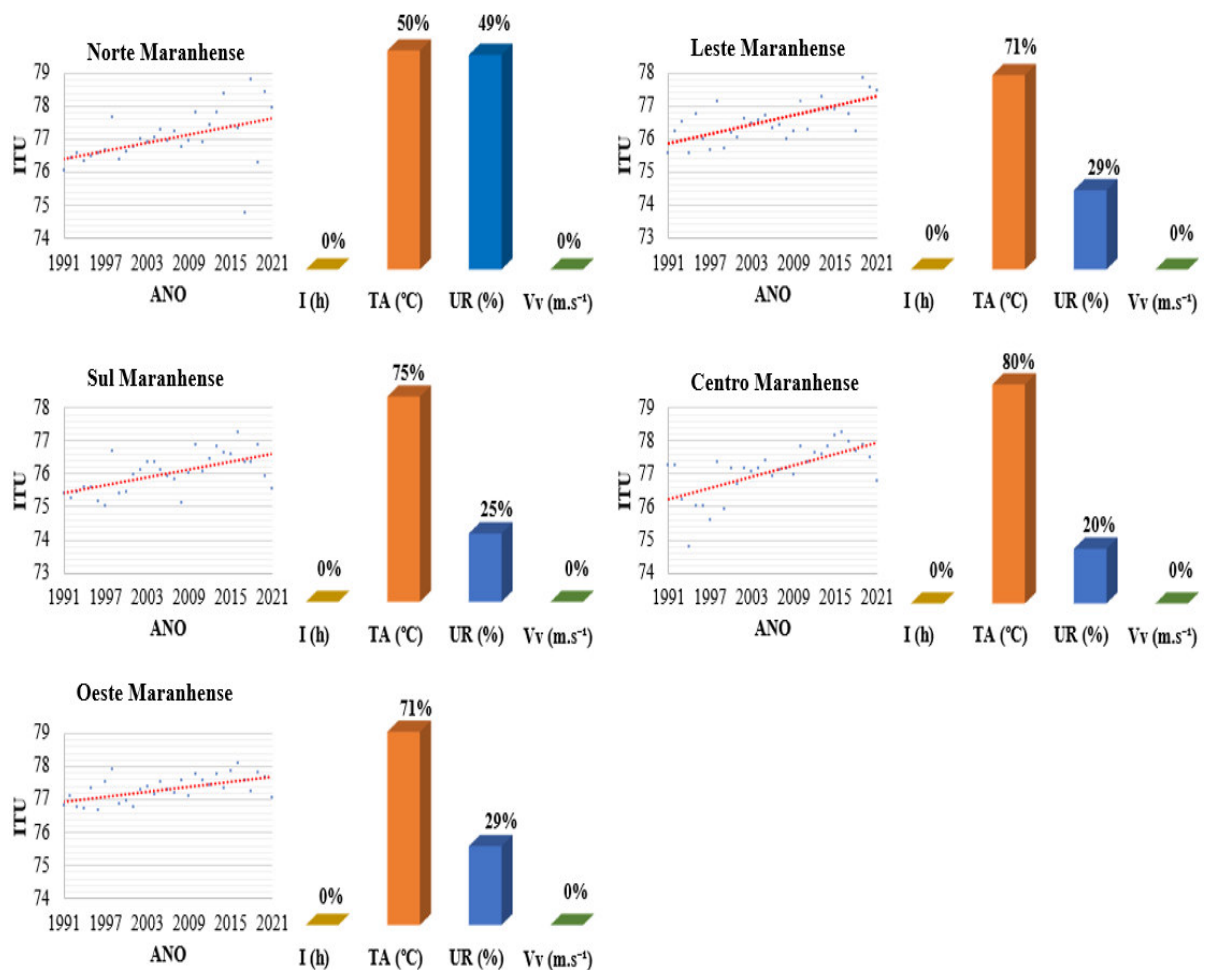
Tabela 4 - Coeficientes obtidos na regressão linear múltipla dos dados normalizados das variáveis climáticas durante o período interanual.

MESORREGIÕES	Variáveis					
	I (h)	TA (°C)	UR (%)	Vv ($m.s^{-1}$)	Int.	R ²
Norte	0,003	0,835	0,817	-0,001	-0,404	0,998
Leste	0,009	3,154	1,296	-0,005	0,398	0,999
Sul	0,002	2,771	0,934	0,010	-0,223	0,999
Centro	-0,003	4,120	1,017	-0,001	-0,193	0,999
Oeste	0,001	1,677	0,682	-0,001	-0,393	0,999

I - Insolação; TA - Temperatura do ar; UR - Umidade relativa; Vv - Velocidade do vento; Int. – Intercepto.

Observa-se na Figura 3, os valores de ITU ao longo dos 30 anos analisados e o percentual de influência das variáveis climáticas sobre o índice em cada mesorregião do Maranhão. Ao analisar a linha de tendência, verifica-se que em todas as mesorregiões obtiveram acréscimo do ITU ao longo do tempo. As únicas variáveis influenciadoras sobre o ITU foram a temperatura e umidade relativa, sendo que em todas as mesorregiões a temperatura foi a maior influenciadora. No estado da Paraíba, no nordeste brasileiro, observa-se essa semelhança segundo o estudo de Nascimento et al. (2020), que tiveram a tendência das variáveis climáticas para os períodos interanual, chuvoso e seco, em alguns dos municípios que sofreram aumento das variáveis TA e UR em todos os períodos, o que reflete diretamente sobre o valor do ITU.

Figura 3: Tendência e percentual da influência das variáveis climáticas sobre o Índice de Temperatura e Umidade por mesorregião do Maranhão.



Em geral, ao analisar a linha de tendência de ITU para o Norte, Leste, Centro e Oeste Maranhense, são muitos similares, evidenciando o acréscimo de ITU ao longo do tempo. O ITU teve acréscimo no Sul do Maranhão, no entanto, a contribuição foi menor.

A variável temperatura teve influência em todas as mesorregiões, sendo que no Centro Maranhense influenciou com (80%), seguido do Sul (75%), Leste e Oeste com (71%). Já a umidade relativa apresentou no Norte (49%), Leste (29%), Sul (25%), Centro (20%) e Oeste (29%).

No Norte Maranhense, verifica-se que a temperatura e umidade impactam diretamente no valor de ITU, quanto maior o valor de temperatura e a umidade, maior será o valor do ITU. Em 1991, validou-se essa relação entre as variáveis, onde o ITU obteve menor média anual de (76) com temperatura média de 26 °C e umidade relativa de 83,5%, já em 2021, o ITU corresponde a (78) com média temperatura igual a 27,50 °C e umidade 85,50%, mostrando assim, que os acréscimos dos valores de ITU ao longo dos anos nessa região foram proporcionais com a variação dos valores das variáveis analisadas.

A mesorregião Norte, limita-se com o oceano, com isso, possui predominância de alta umidade relativa durante todo o ano, justificando o fato de a mesorregião ser a única que contribui com valor de 49% sobre o ITU.

Já no Leste Maranhense, a maior média de ITU foi em 2016, chegando a (78), com temperatura média de 28,65 °C e umidade relativa 67,25%, e o menor valor de ITU na série histórica foi no ano de 1994, com o média (75,54), e as respectivas médias das variáveis climáticas foram de 26,30 °C e 75% de umidade, dessa forma, pode-se afirmar que quanto maior a temperatura mais seco será o ambiente.

O Sul do Maranhão, é a mesorregião que apresentou menor inclinação de tendência de ITU, como mostra na Figura 3, as variações de ITU nessa região foram as que menos alteraram ao longo dos anos, esse fato pode ser explicado pelos menores valores de temperatura e maiores valores de umidade relativa. No ano 1997 foi registrado o menor valor de ITU, (75), e no mesmo período, a média de temperatura correspondeu a 25,5 °C e umidade 73,5%. Em 2016, o ITU obteve maior média com (77,25), proveniente da média de temperatura 27,5 °C e umidade 63,75%.

Em 1994 e 2016, o Centro do Maranhão alcançou maior e menor média de ITU, (74,78 e 78,24), foi observado na menor média do índice, uma temperatura e umidade de 25,5 °C e 79,13%, já na maior média de ITU, foi de 28,57 °C e 70,63%.

Não muito diferente das outras regiões, o Oeste do Maranhão também teve em sua média máximo de ITU em 2016, com (78,1) e média mínima em 1996 com (76,65), a variável temperatura em 2016 foi de 28,06 °C e umidade 77,25%, já em 1996, foi registrado 26,82 °C e

80,33% de umidade. Com isso, observa-se uma relação direta entre temperatura e umidade relativa no ITU.

5.2 Tendência do ITU e variáveis influenciadoras durante o período chuvoso

No período chuvoso, foi considerado os quatro meses com maior precipitação de cada estação e posteriormente por mesorregião. Na Tabela 4, nota-se que a tendência de ITU é estatisticamente significativa, assim como a inclinação para todas as mesorregiões do Maranhão. No período analisado, todas as mesorregiões tiveram tendência de acréscimo, no Sul (4,11), Leste (3,06), Oeste (2,95) e Norte (1,93) tiveram os maiores valores respectivamente.

Tabela 5 - Tendência do ITU durante o período chuvoso, em que Z representa a tendência e β a inclinação da tendência para todas as mesorregiões do Maranhão.

Mesorregiões	Z	β
Norte	1,93	0,248
Leste	3,06	0,39
Sul	4,11	0,523
Centro	2,60	0,332
Oeste	2,95	0,376

Os coeficientes da regressão linear múltipla das variáveis dependentes e independentes que foram normalizados para o período chuvoso são usados para calcular o percentual de influência das variáveis na ITU, que é mostrado na Tabela 6.

Os coeficientes obtidos no período chuvoso de todas as variáveis climáticas analisadas mostram a contribuição para o aumento do ITU, no entanto, as únicas contribuições significativas foram as das variáveis TA e UR.

Tabela 6 - Coeficientes obtidos na regressão linear múltipla dos dados normalizados das variáveis climáticas durante o período chuvoso.

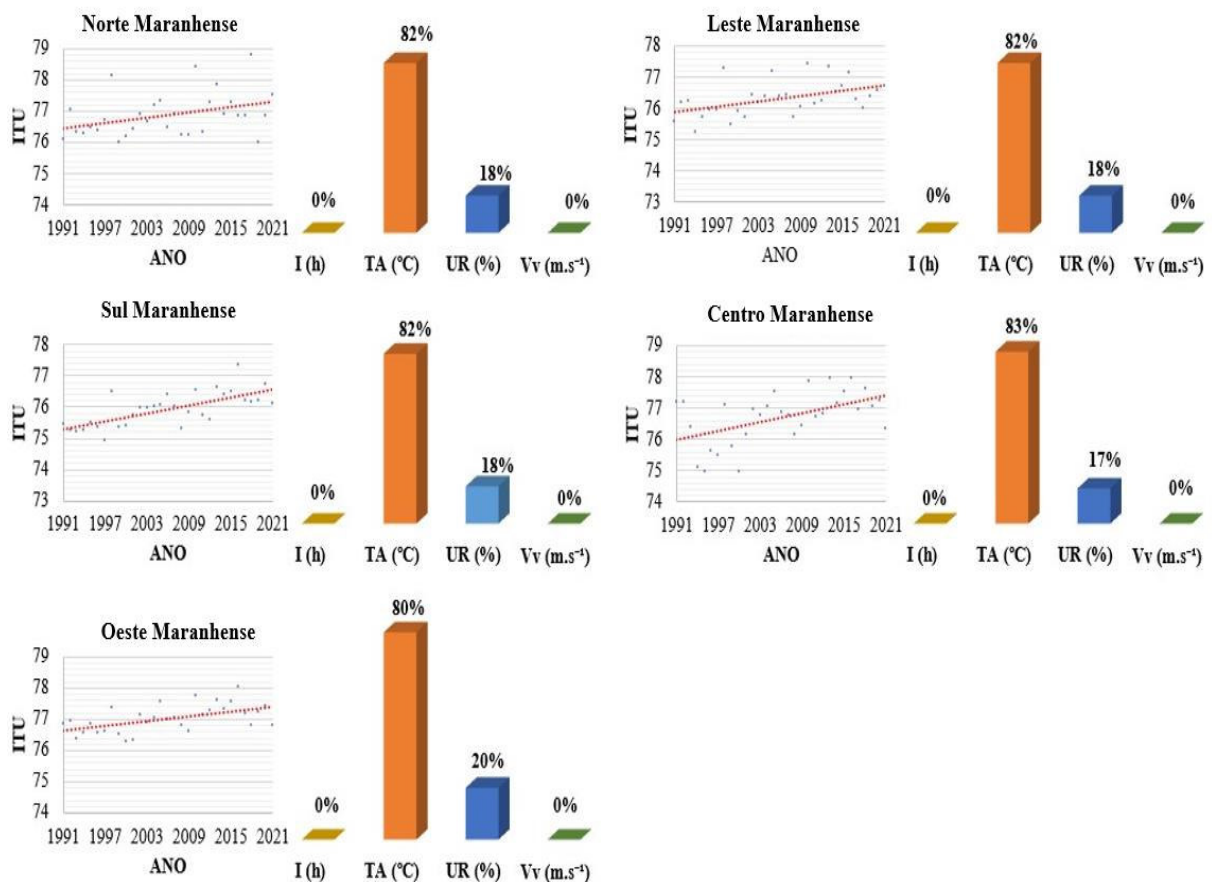
MESORREGIÕES	Variáveis					
	I (h)	TA (°C)	UR (%)	Vv (m.)	Int.	R ²
Norte	0,000	1,283	0,286	0,000	-0,280	0,999
Leste	0,001	2,411	0,528	0,002	-0,149	0,999
Sul	0,002	2,817	0,636	0,000	-0,168	0,999
Centro	0,004	3,588	0,710	0,001	-0,195	0,999
Oeste	0,000	2,045	0,522	0,000	-0,273	0,999

I - Insolação; TA - Temperatura do ar; UR - Umidade relativa; Vv - Velocidade do vento; Int. – Intercepto.

Na Figura 4, os valores de ITU ao longo da série histórica e o percentual de

influência das variáveis climáticas sobre o índice em cada mesorregião mostra resultados parecidos com o período interanual, onde a linha de tendência é crescente, a temperatura e umidade relativa são as únicas variáveis influenciadoras sobre o ITU.

Figura 4: Tendência e percentual de influência no período chuvoso das variáveis climáticas sobre o Índice de Temperatura e Umidade por mesorregião do Maranhão.



Durante o período chuvoso, a umidade relativa atinge seu valor máximo, devido à evaporação após a precipitação. Nesse período, a amplitude térmica é menor e o clima tende ser mais amenos, principalmente no centro do Maranhão, já que possui predominância do bioma amazônico, a vegetação contribui com a umidade liberada para a atmosfera através da evapotranspiração. No entanto o ITU teve a temperatura influenciou com (83%), Norte, Sul e Leste (82%) e Oeste com (80%). Já a umidade relativa apresentou no Norte, Sul e Leste (18%), Centro (17%) e Oeste (20%).

Apesar da umidade relativa contribuir para um ambiente mais ameno, devido a baixa variação de temperatura, ela pode fazer com que o calor não seja totalmente liberado durante a noite, formando uma espécie de cobertor entre o solo e a cobertura de nuvens deixando o ar mais quente, tendo uma madrugada/começo de manhã com temperaturas mínimas mais elevadas (ECHER et al. 2006).

5.3 Tendência do ITU e variáveis influenciadoras durante o período seco

No período seco, o ITU apresentou tendência crescente, Tabela 7. Diferentemente do período chuvoso, o Sul do Maranhão foi o que sofreu menor tendência de aumento de ITU, proporcionando melhor índice para conforto para os animais, isso ocorre devido a menores temperaturas durante esse período. O Leste apresenta o maior valor de Z (4,57), sendo assim, a região que mais sofre aumento do ITU no período seco, posteriormente, o Centro (3,843), Oeste (2,95) e Norte (2,450).

Tabela 7 - Tendência do ITU durante o período seco, em que Z representa a tendência e β a inclinação da tendência para todas as mesorregiões do Maranhão.

Mesorregiões	Z	β
Norte	2,45	0,313
Leste	4,57	0,581
Sul	1,85	0,236
Centro	3,84	0,607
Oeste	2,95	0,376

No período seco, os coeficientes da regressão linear múltipla dos dados normalizados, são apresentados na Tabela 8. Os valores dos coeficientes das variáveis do período seco que tiveram maior influência foram a de TA e UR.

Tabela 8 - Coeficientes obtidos na regressão linear múltipla dos dados normalizados das variáveis climáticas durante o período seco.

MESORREGIÕES	Variáveis					
	I (h)	TA (°C)	UR (%)	Vv (m.)	Int.	R ²
Norte	-0,001	1,002	0,559	0,001	-0,342	0,999
Leste	0,011	3,578	1,397	-0,009	-0,143	0,999
Sul	0,008	4,097	1,485	0,007	-0,489	0,999
Centro	-0,001	5,716	1,536	0,006	-0,223	0,999
Oeste	0,002	2,218	0,863	0,006	-0,322	0,999

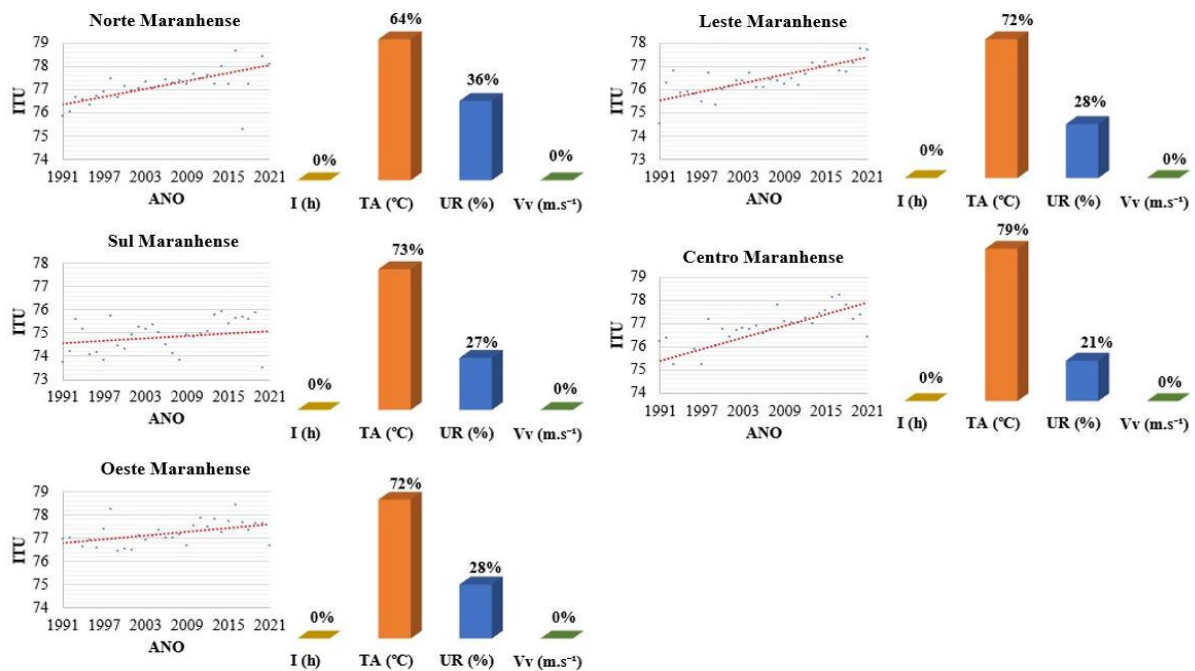
I - Insolação; TA - Temperatura do ar; UR - Umidade relativa; Vv - Velocidade do vento; Int. – Intercepto.

Ao analisar os três períodos, (interanual, chuvoso e seco), todos eles tiveram tendência crescente para o ITU, sendo que as variáveis TA e UR foram as únicas com influência significativa para as cinco mesorregiões analisadas.

A contribuição em porcentagem para o acréscimo da tendência do ITU no Norte Maranhense, Figura 5, foi de 64% de TA e 36% de UR. Apesar de ser um período seco, por conta da influência do oceano, a umidade relativa tende ser maior no Norte que nas demais regiões, e associada a maiores temperaturas causa variação de ITU chegando a 79,5.

Na mesorregião Sul, a influência das variáveis sobre o ITU é da TA com 73% e da UR com 27%, no entanto, foi a região que teve menor inclinação da linha de tendência do ITU, apesar de ser o período com menor precipitação a temperatura atuou de forma mais amenas em relação as outras mesorregiões.

Figura 5: Tendência e percentual de influência no período seco das variáveis climáticas sobre o Índice de Temperatura e Umidade por mesorregião do Maranhão.



O Oeste Maranhense apresentou pouca variação de ITU, isso ocorre, pois, a vegetação predominante contribui para manter o ambiente com menor temperatura durante o período seco. As variáveis TA e UR tiveram 72 e 28%, respectivamente, de influência sobre o ITU e evidencia a homogeneidade das influências das variáveis durante os três períodos analisados. Já no Leste Maranhense as variáveis TA e UR contribuíram com 72 e 28% e o ITU variou entre 74,5 a 77,8, com o período seco a umidade relativa é mais baixa em relação aos outros períodos e maiores temperaturas fazendo com ocorra grande variação de ITU. O Centro do Maranhão se comporta de maneira parecida, no entanto, com porcentagem de influência de TA 79% e UR com 21%.

Apesar que as variáveis de Insolação e Velocidade do Vento não tenham influenciado no ITU nesse estudo, elas podem contribuir de forma positiva ou negativa. Pensando no ambiente para o animal, a velocidade do vento é um dos fatores que auxilia na dissipação de calor corporal para o ambiente (STORTI, 2019). Além disso, facilita a termólise convectiva e ameniza a sensação de calor imposta por temperatura ambiente elevada (FAÇANHA et al., 2010) ou seja, melhora a sensação térmica. Já a Insolação provoca o

aumento da temperatura e conseqüentemente a sensação térmica provocando o estresse animal.

5.4 Aplicação de medidas mitigadoras para produção de bovinos

O manejo do ambiente tem sido amplamente difundido, no sentido de melhorar as condições de conforto do animal, em função da influência dos atributos climáticos em favorecer ou prejudicar o seu desempenho. Este manejo engloba as estratégias usadas para reduzir os problemas existentes na relação animal-ambiente. Em climas quentes e úmidos, o uso de modificações ambientais, primárias ou secundárias, torna-se necessário ao combate do estresse térmico dos animais, permitindo que eles possam produzir e reproduzir com eficiência (BAËTA & SOUZA, 1997).

O Índice de Temperatura e Umidade varia de acordo com a espécie, raça e condições de criação dos animais, sendo assim, vários autores classificaram zonas de ITU para diferentes espécies. Para bovinos, Pires & Campos (2004) classificam o ITU como inferior a 70: normalmente (os animais encontram-se numa faixa de temperatura e umidade ideal para seu desempenho produtivo); Maior que ou igual a 70 e menor que ou igual a 72: alerta (as condições climáticas estão no limite para o bom desempenho produtivo); Maior que 72 e menor que ou igual a 78: alerta, e acima do índice crítico para a produção de leite (nesta faixa, o desempenho produtivo está comprometido); Maior que 78 e menor que ou igual a 84: perigo (todas as funções orgânicas dos animais estão comprometidas); Superior a 84: emergência (providências urgentes devem ser tomadas).

Tabela 9 – Variação e média dos valores de ITU para as mesorregiões do Maranhão no período interanual, chuvoso e seco.

Mesorregiões	Variação e Média do ITU					
	Interanual	Média	Chuvoso	Média	Seco	Média
Norte	74,8- 78,9	77,0	76,0 – 78,9	76,9	75,3 – 79,5	77,2
Leste	75,5 - 78,1	76,6	75,2 -77,4	76,3	74,5 - 77,8	76,5
Sul	75,0 -77,2	76,0	74,9 - 77,4	75,9	73,5 -75,9	74,8
Centro	74,8 - 78,2	77,1	75,0 - 78,0	76,7	75,2 - 78,2	76,6
Oeste	76,6 - 78,1	77,3	76,3 - 78,1	77,0	76,5 - 78,5	77,2

Seguindo a classificação proposta por Pires & Campos (2004), para os períodos interanual, chuvoso e seco, os bovinos encontram-se em estado de alerta, como é demonstrado na Tabela 9, pois os valores médios de ITU se encontram entre na faixa determinada. Para

determinar as medidas mitigadoras é necessário entender o que causa/provoca um ambiente estressante para os bovinos.

A susceptibilidade dos bovinos ao estresse calórico aumenta à medida que a umidade relativa e temperatura ambiente ultrapassa a zona de conforto térmico, o que dificulta a dissipação de calor que, por sua vez, aumenta a temperatura corporal, com efeito negativo sobre o desempenho, assim a combinação de temperatura e umidade elevada constitui elemento climático estressor (BACCARI, 1998). Essa característica é evidenciada nas Figuras 3, 4 e 5, onde as únicas variáveis que contribuíram com tendência crescente foram TA e UR.

O controle da temperatura corporal de um animal se dá pelo equilíbrio do calor produzido pelo organismo e do ganho do ambiente com o perdido para o mesmo ambiente. Para dissipar ou reter calor o animal utiliza-se de mecanismos fisiológicos e comportamentais. Tais mecanismos contribuem para a manutenção da homeotermia. Dentre esses mecanismos, para dissipar calor, podem-se citar: aumento de taxa respiratória, aumento dos batimentos cardíacos, sudorese, aumento na ingestão de água, diminuição na ingestão de alimentos, a procura por lâminas de água, etc. (RODRIGUES, 2006).

Para o sistema de produção a pasto, o sombreamento é a principal medida empregada para animais altamente especializados, muito sensíveis a altas temperaturas. Para Titto et al. (2008), o efeito benéfico da disponibilidade de sombra para os animais de produção baseia-se na melhoria de suas condições fisiológicas (frequência respiratória, temperatura retal, batimentos cardíacos, etc.), no comportamento animal (consumo, ócio, ruminação, etc.) e no desempenho produtivo (carne, leite, etc.), percebendo-se diferenças mais acentuadas nessas variáveis quanto menor for a tolerância dos animais a elevadas temperaturas.

Para produção em confinamento, medidas para a promoção do conforto aos animais, é aconselhável dispor as instalações na orientação Leste -Oeste, para que a incidência solar direta no interior das instalações seja evitada nos períodos mais quentes. Além de que, as áreas para implantação das instalações devem ser amplas e de fácil acesso, possuindo boa drenagem e ventilação adequada (Lopes Neto 2017; Azevedo et al. 2020). A utilização correta de instalações e equipamentos, como ventiladores e aspersores, para reduzir o estresse térmico por calor pode melhorar a produtividade dos animais (Marcheto et al., 2002).

Outra medida mitigadora seria a utilização de forros sob a cobertura, visto que, atuam como uma segunda barreira térmica, reduzindo a transferência de calor para dentro da instalação, diminuindo sua temperatura interna e o percentual de influência da TA sobre o ITU.

Estudos com materiais não convencionais em forros, vêm sendo avaliados no meio acadêmico, com resultados satisfatórios na redução de temperatura interna e nos índices de conforto térmico (BARBIRATO et al. 2015; CABRAL et al. 2017). Porém em instalações já existentes, a pintura externa dos telhados é recomendada em regiões de clima quente como uma ferramenta alternativa de baixo custo e fácil implantação, melhorando o conforto ao reduzir a temperatura do ar no interior da instalação (VALADARES et al. 2018).

Como benefícios do maior conforto animal obtido, ocorre a otimização da produtividade, com maiores produções de leite e carne. Em sistemas que aliem essas características, pode-se aumentar o peso do bezerro ao desmame, o que reduz o período de recria dos animais e antecipa a terminação dos machos para abate, além de menor idade à puberdade para fêmeas e aumento de sua vida produtiva.

Portanto, conhecer a condição térmica das diferentes regiões do estado Maranhão torna-se fundamental, de modo que fornece subsídio para o planejamento da produção bovina junto aos produtores e entidades responsáveis por fomentar a produção no estado. Permitindo assim potencializar a produtividade bovina que vem tendo destaque expressivo na economia do estado.

6. CONCLUSÃO

A temperatura foi a variável que teve maior percentual de influência sobre o aumento Índice de Temperatura e Umidade (ITU), nos três períodos analisados (interanual, chuvoso e seco), em todas as mesorregiões do Maranhão.

Conclui-se que, ao passar dos anos o ITU teve um aumento provocado por uma tendência de incremento das variáveis de temperatura e umidade relativa do ar.

Para bovinos, o ambiente é considerado acima do índice crítico e em alerta para a produção de leite para os três períodos analisados do Maranhão. Sendo necessária a utilização de medidas mitigadoras com intuito de contribuir para o conforto térmico.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, RCFN. Estresse calórico em bovinos de corte criados a pasto e seus efeitos na sustentabilidade. **Trabalho de conclusão de curso-Universidade Federal de Goiás-Escola de Veterinária e Zootecnia. Goiânia**, p. 34, 2013.

AZEVÊDO, D. M. M. R., **O estresse térmico em bovinos leiteiros Parte 2: O ambiente e o animal**. 2007. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/colunistas/coluna/o-estresse-termico-em-bovinos-leiteiros-parte-2--o-ambiente-e-o-animal_385132. Acesso dia 24 de julho de 2022.

AZEVEDO, Hierro Hassler Freitas et al. Bem-estar e suas perspectivas na produção animal. **PubVet**, v. 14, n. 1, p. a481, 2020.

BACCARI Jr., F. Manejo ambiental para produção de leite em climas quentes. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA**, 2., 1998, Goiânia. Anais... Goiânia, 1998. p.136-161.

BAÊTA, F. C. Responses of lactating dairy cows to the combined effects of temperature, humidity and wind velocity in the warm season. Missouri, University of Missouri – Columbia, 1985. 218p. (Ph.D. Thesis).

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais - conforto animal**. Viçosa: Editora da UFV.1997. 246p.

BARBIRATO, G. et al. Desempenho térmico de bezerreiros cobertos com telha de fibrocimento e forro ecológico de subprodutos agroindústrias associadas a materiais isolantes. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 9, n. 3, p. 261-267, 2015.

BEEDE, D. K.; COLLIER, R. J. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. **Journal of animal science**, v. 62, n. 2, p. 543-554, 1986.

BÍCEGO, K. C. **Ectotermia e endotermia. In: Fisiologia térmica de vertebrados**. São Paulo: Cultura Acadêmica, cap. 3, p. 69-87, 2020.

BÍCEGO, K. C.; GARGAGLIONI, L. H. **Fisiologia térmica de vertebrados**. São Paulo: Cultura Acadêmica, p. 359-363 2020.

BUFFINGTON, COLLAZO-AROCHO A, CANTON GH, PITT D, THATCHER WW, COLLIER RJ. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Trans ASAE**. 1981.

CABRAL, M. R. et al. Avaliação do desempenho térmico de bezerreiros com eco-forro de partículas de madeira e fibra de sisal. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 11, n. 3, p. 217-228, 2017.

CECCHIN, D. CAMPOS, A. T., SCHIASSI, L., CRUZ, V. M. F., SOUSA, F. A. Índice fuzzy para o conforto térmico de suínos na fase de crescimento e terminação com base na temperatura superficial e frequência respiratória. **Energia na Agricultura**, Botucatu, vol. 31, n. 4, p.334-341, 2016.

DA SILVA, Roberto Gomes. **Introdução à bioclimatologia animal**. Nobel, 2000.

DOURADO, J. R. BOCLIN, R. G. A indústria do Maranhão: um novo ciclo. **Brasília: IEL**, 2008.

ECHER, M. P.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. A importância dos dados de cobertura de nuvens e de sua variabilidade: Metodologias para aquisição de dados. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, p. 341-352, 2006.

FIGUEIREDO M. R. P.; SALIBA E. O. S.; BORGES, I.; REBOUÇAS G. M. N.; SILVA, F. A.; SÁ, H. C. M. Comportamento ingestivo de ovinos alimentados com diferentes fontes de fibra. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 65, n. 2, p. 485-489, abr. 2013.

GLASER, Frederico Delbin. Aspectos comportamentais de bovinos das raças Angus, Caracu e Nelore a pasto frente à disponibilidade de recursos de sombra e água para imersão. 2008. Tese de Doutorado. Tese, Universidade de São Paulo.

HAHN, G. L.; MADER, T. L. Heat waves in relation to thermoregulation, feeding behavior and mortality of feedlot cattle. In: **Proceedings, Fifth International Livestock Environment Symposium**. 1997.

HUYNH, T.T.T.; AARNINK, A.J.A.; GERRITS, W.J.J.; HEETKAMP, M.J.H.; CANH, T.T.; SPOOLDER, H.A.M.; KEMP, B.; VERSTEGEN., M.W.A. Thermal behaviour of growing pigs in response to high temperature and humidity. **Original Research Article Applied Animal Behaviour Science**, v.91, Issues 1–2, May, Pages 1-16, 2005.

IBGE. **Cidades e Estados. Disponível** em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma.html>>. Acesso em: 20 set. de 2022.

IBGE. **Divisão Regional do Brasil em Mesorregiões e Microrregiões Geográficas**. Volume 2. Região Nordeste. 1992. Disponível em:<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv2269_3.pdf>. Acesso em 10 set. de 2022.

IBGE. **Pesquisa da Pecuária Municipal – PPM**. Disponível em:<<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/bovinos/ma>>. Acesso em: 15 nov. de 2022

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2013) Summary for Policymakers. In: Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Stocker TF, D Qin, GK Plattner, M Tignor, SK Allen, J Boschung, A Nauels, Y Xia, V Bex, P M. Midgley (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013.

Júnior, M. R. J., Garcia, A. R., Santos, N. D. F. A. D., Nahúm, B. D. S., Lourenço Junior, J. D. B., Aaraújo, C. V. D., Costa, N. A. D. Conforto ambiental de bezerros bubalinos (*Bubalus bubalis* Linnaeus, 1758) em sistemas silvipastoris na Amazônia Oriental. **Acta Amazonica**, v. 40, p. 629-640, 2010.

K. B. Efeito das épocas do ano e de turno sobre os parâmetros fisiológicos e seminais de caprinos no semi-árido paraibano. **Agronegócio científico no Semiárido**, v. 1, n. 1, p. 7-14, 2005

KENDALL, M. G. **Rank correlation measures**. London: Ed. Charles Griffin, 1975. LOPES NETO, J. P. Construções e Instalações rurais. **NT editora: Brasília, 138p, 2017.**

MADER T.L.; JOHNSON L.J.; GAUGHAN, J.B. A comprehensive index for assessing environmental stress in animals. **Journal of Animal Science**, (cidade), v. 88, p. 2153-2165, 2010.

MADER, DAVIS MS, BROWN-BRAND T., **Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle**. J Anim Sci. 2006.

MANN, Henry B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*: **Journal of the econometric society**, p. 245- 259, 1945.

MARTINS, J. C.; OTTATI, A. M. A. A. Análise da pecuária maranhense entre os anos de 1974 e 2017. In: **VI Congresso Internacional das Ciências Agrárias**, 4., 2019, Recife – PE. Anais do Congresso Internacional das Ciências Agrárias, 2019.

MCMANUS, C.; CANOZZI, M. E.; BRACELLOS, J.; REZENDE PAIVA, S. PECUÁRIA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Revista UFG, Goiânia**, v. 13, n. 13, 2017. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/revistaufg/article/view/48455>>. Acesso em: 26 maio. 2022.

MEDEIROS, L. F. D.; VIEIRA, D. H. Bioclimatologia animal. **Instituto de Zootecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ**. 126p, 1997.

MORENO, S. O; PIMENTEL, R. S. Uma análise da formação econômica do território Maranhense através da agropecuária: um olhar acerca da origem e desenvolvimento da pecuária no estado. **XXI Encontro Nacional de Geografia Agrária. Uberlândia MG**, 2012.

NASCIMENTO, R.S., BRITO, J. I. B., BORGES, V. P., BORGES, P. F., ARAÚJO, L. S. Reference Evapotranspiration in the State of Paraíba, Brazil: Climatic Trends and Influencing Factors. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 13, n. 3, p. 1024-1034, jun. 2020. ISSN 1984-2295. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge/article/view/243582>>. Acesso em: 12 dez. 2023.

NUGEO, M. S. **Bacias hidrográficas e climatologia no Maranhão**. Núcleo Geoambiental. Universidade Estadual do Maranhão. - São Luís, 2016.

NUNES, M. L., MIRANDA, K. O. D. S., FARIA, J. M., VIEIRA, A., ARCARO J, I. Avaliação fisiológica de estresse por calor em porcas gestantes submetidas a diferentes sistemas de alojamento em cama e em piso de concreto. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 1, 2016.

OLIVEIRA, L. M., YANAGI, J. T., FERREIRA, E., CARVALHO, L. G. D., SILVA, M. P. D. Zoneamento bioclimático da região sudeste do Brasil para o conforto térmico animal e humano. **Engenharia Agrícola**, v. 26, p. 823-831, 2006.

OLIVEIRA, W.P.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; ALBINO, L.F.T.; MARTINS, M.S.; MAIA, A.P.M. Redução do nível de proteína bruta em rações para frangos de corte em ambiente de termoneutralidade. **Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa-MG**, v.40, n.8, p.1725-1731, 2011.

OLIVEIRA, F.; TURCO, S. H. N.; BORGES, I.; CLEMENTE, C. A. A.; NASCIMENTO, T. V. C.; LOIOLA, F, J. B. Parâmetros fisiológicos de ovinos Santa Inês submetidos a

sombreamento com tela de polipropileno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 9, p. 1014–1019, 2013.

PIRES, M. D. F. A.; CAMPOS, A. T. Modificações ambientais para reduzir o estresse calórico em gado de leite. **Embrapa Gado de Leite**. (2004).

PIRES, M. F. Á. Manejo alimentar para vacas com stress calórico. **Juiz de Fora: Embrapa**, 2006.

PIRES, M. F. A.; CAMPOS, AT de. Relação dos dados climáticos com o desempenho animal. **Dados climáticos e sua utilização na atividade leiteira**, v. 1, p. 250, 2003.

RIBEIRO, N. L.; FURTADO, D. A.; MEDEIROS, A. N.; RIBEIRO, M. N.; SILVA, R. C. B.; SOUZA, C. M. S. Avaliação dos índices de conforto térmico, parâmetros fisiológicos e gradiente térmico de ovinos nativos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.28, p.614-623, 2008.

ROCHA, M. K. **Efeitos do ambiente na reprodução de bovinos de corte**. Faculdade de Veterinária. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p. 53. 2016.

RODRIGUES, E. **Conforto térmico das construções**. 3. Fisiologia da homeotermia. 2006.

SANTOS, F.C.B.; SOUZA, B.B.; ALFARO, C.H.P.; CEZAR, M.F.; PIMENTA FILHO, E.C.; ACOSTA, A.A.A.; SANTOS, J.R.S. Adaptabilidade de caprinos exóticos e naturalizados ao clima semiárido do Nordeste brasileiro. **Ciência e Agrotecnologia, Lavras**, v.29, n.1. p.142-9, 2005.

SANTOS, Itaan de Jesus Pastor. **Impactos Causados Pela Bovinocultura de Corte Nos Assentamentos de Reforma Agrária do Maranhão: Segurança Alimentar, Modificação da Paisagem e transformações Regionais**. Tese de Doutorado. Universidade Tecnica de Lisboa (Portugal),2010.

SANTOS, J. R. N., SILVA, F. B., SILVA JUNIOR, C. H. L.; ARAÚJO, M. D. Precisão dos dados do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) na região de transição Amazônia-Cerrado no Estado do Maranhão. **XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento, João Pessoa. Anais. João Pessoa: INPE**, 2015.

SANTOS, P.A.; BAÊTA, F.C.; TINÔCO, I.F.F.; ALBINO, L.F.T.; CECON, P.R. Ventilação em modos túnel e lateral em galpões avícolas e seus efeitos no conforto térmico, na qualidade do ar e no desempenho das aves. **Revista Ceres**, v. 56, n. 2, p. 172-180, 2009.

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American statistical association**, v. 63, n. 324, p. 1379-1389, 1968.

SILVA, G. A.; SOUZA, B. B.; SILVA, E. M. N. Influência do aquecimento global sobre as variáveis climatológicas e índice de conforto térmico no estado da Paraíba, Brasil. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 3, n. 4, p. 116-119, 2015.

SILVA, G. D., SOUZA, B. D., ALFARO, C. E. P., AZEVEDO, S. A., AZEVEDO N. J., SILVA, E. M. N., & SILVA, A. K. B l. Efeito das épocas do ano e de turno sobre os parâmetros fisiológicos e seminais de caprinos no semi-árido paraibano. **Agropecuária científica no Semiárido**, v. 1, n. 1, p. 7-14, 2005.

SILVA, R. G. Introdução à bioclimatologia animal. **Nobel, São Paulo**. 2000.

SIROHI, S.; MICHAELAWA, A. Sufferer and cause: Indian livestock and climate change. **Climatic Change**, v.100, p.120-134, 2007.

SOUSA, P. Avaliação do índice de conforto térmico para matrizes suínas em gestação segundo as características do ambiente interno. **Campinas: Universidade Estadual de Campinas**, 2002.

SOUZA, B. B.; BATISTA, L. N. Os efeitos do estresse térmico sobre o desempenho animal. **ACSA–Agropecuária Científica no Semi-Árido2012**, p. 6-10, 2012.

SOUZA, J., FREIRE, J. D. **Fluxo de calor latente e mecanismos termorregulatórios em bovinos no semi-árido**. 2008.

STARLING, C. M. J.; SILVA, G. R.; NEGRÃO, A. J.; MAIA, C. S. A.; BUENO, R. A. Variação estacional dos hormônios tireoideanos e do cortisol em ovinos em ambiente tropical. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, p. 2064-2073, 2005.

STORTI, A. A., NASCIMENTO, M. R. B. M., FARIA, C. U. D., & SILVA, N. A. M. D Índices de estresse térmico para touros jovens nelore criados em ambiente tropical. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 47, p. 1670, 2019.

THOM, E. C. **The discomfort index**. **Weatherwise**, 1959.

THOM, E.C. Cooling degrees - days air conditioning, heating, and ventilating. **Transactions of the ASAE, St. Joseph**, v.55, n.7, p.65-72, 1958.

TINÔCO, I. F. F. Ambiência e instalações para a avicultura industrial. **In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, p. 1-86. 1998.

TITTO, E. A. L.; PEREIRA, A. M. F.; VILELA, R. A.; TITTO, C. G.; AMADEU, C. C. B. Manejo ambiental e instalações para vacas leiteiras em ambiente tropical. In: WORKSHOP DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE, 1., 2008, Nova Odessa. **Palestras...** Nova Odessa: Centro Apta - Bovinos de Leite-Instituto de Zootecnia, 2008. p. 1-24.

XIMENES, L. F. **Segmento de carne bovina**. 2020.

YE, Xuchun, Li, X., Liu, J., Xu, C. Y., & Zhang, Q. Variation of reference evapotranspiration and its contributing climatic factors in the Poyang Lake catchment, China. **Hydrological Processes**, v. 28, n. 25, p. 6151-6162, 2014.

ZHANG, Shouhong, Liu, S., Mo, X., Shu, C., Sun, Y., & Zhang, C Assessing the impact of climate change on potential evapotranspiration in Aksu River Basin. **Journal of Geographical Sciences**, v. 21, n. 4, p. 609-620, 2011.