

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

AMANDA MIRANDA DE FRANÇA

**ÍNDICE DE TEMPERATURA E UMIDADE PARA A AVALIAÇÃO DO ESTRESSE
TÉRMICO DE CAPRINOS ANGLO-NUBIANO SUBMETIDOS A DIFERENTES
TEMPERATURAS DO AR**

CHAPADINHA - MA

2022

AMANDA MIRANDA DE FRANÇA

**ÍNDICE DE TEMPERATURA E UMIDADE PARA A AVALIAÇÃO DO ESTRESSE
TÉRMICO DE CAPRINOS ANGLO-NUBIANO SUBMETIDOS A DIFERENTES
TEMPERATURAS DO AR**

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. Nítalo André Farias Machado

CHAPADINHA – MA

2022

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

Miranda de França, Amanda.

Índice de temperatura e umidade para a avaliação do estresse térmico de caprinos anglo nubiano submetidos a diferentes temperaturas do ar / Amanda Miranda de França. - 2022.

36 f.

Coorientador(a): Nítalo André Farias Machado.

Orientador(a): Jordânio Inácio Marques.

Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Maranhão, UFMA-CHAPADINHA, 2022.

1. Conforto térmico. 2. Índices térmicos. 3. Respostas fisiológicas. I. Farias Machado, Nítalo André. II. Inácio Marques, Jordânio. III. Título.

AMANDA MIRANDA DE FRANÇA

**ÍNDICE DE TEMPERATURA E UMIDADE PARA A AVALIAÇÃO DO ESTRESSE
TÉRMICO DE CAPRINOS ANGLONUBIANO SUBMETIDOS A DIFERENTES
TEMPERATURAS DO AR**

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.

Aprovada em: 23 de dezembro de 2022

Comissão examinadora

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

Ma. Welinagila Grangeiro de Sousa
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Me. Airton Gonçalves de Oliveira
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

*Aos meus pais, Alexandra Miranda de França e Gilmar Nunes de França, que sempre acreditaram no meu potencial e nunca me deixaram pensar em desistir, por tudo que fizeram e fazem por mim, a eles minha eterna
Gratidão.*

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, por estar sempre ao meu lado diante dos dias difíceis e por todo consolo quando pensei em desistir, por sempre me proteger e me guardar, e por todos os dias felizes que me proporcionou também, toda honra e glória seja dada a ele.

Aos meus pais, Gilmar e Alexandra, por sempre serem minha base e meu alicerce, por ter depositado toda sua confiança em mim e me fazer chegar até aqui, aos meus irmãos que também sempre acreditaram em mim e me deram forças pra continuar, por eles, por nós.

À toda minha família em geral, em especial às minhas tias, Izane, Antonia e Francisca, meus primos Israel Lopes, Máisa Lopes e Marcele Cardoso (*in memoriam*) que sempre me apoiaram e acreditaram no meu potencial.

Agradeço a minha República 5x1, especialmente a Miguel, Brenda Ellen, Brenda Carvalho e Eliza pelos momentos felizes, tristes e de raiva (que não foram poucas), por sempre me darem força e me incentivarem a continuar, sempre nos ajudando e apoiando, que nossa amizade possa continuar por longos anos, obrigada, amigos!

Às amizades cultivadas durante toda a minha temporada em Chapadinha-MA, pelos momentos de descontração, por fazerem os dias mais leves, agradecer em especial a Maria Raysse, por sempre que precisei estava aqui pra me ajudar, pela linda amizade que construí com Vanilsa Chaves, Isabela Araujo, Bruna Brito, Gerson Neto, Luiz Alberto, Fernando Freitas e todas que cultivei ao longo desses anos, obrigada por toda amizade construída, serei eternamente grata por tudo.

À minha panelinha, em especial aos meus amigos de turma, Maria Hossanya, Maria de Jesus e Thomersom por todas as trocas de conhecimentos, por nunca me deixarem na mão e me ajudarem nos dias difíceis.

Às minhas amigas Maykelle Alves, que mesmo com toda distância sempre acreditaram e me apoiaram, obrigada, e Jocielma Santos por sempre estar ao meu lado, me amparando e não me deixando desistir, obrigada.

Nessa reta final Deus me proporcionou conhecer uma pessoa especial, Gerciane Moraes, obrigada por sempre me apoiar, amparar e cuidar, você é luz e obrigada por ser luz na minha vida.

Ao meu orientador, Jordânio Inácio Marques, pela oportunidade, principalmente pela confiança no meu trabalho e apoio durante a graduação.

Ao meu coorientador, Nítalo Machado, que nunca mediu esforços ao me orientar, por toda atenção e incentivo deste trabalho.

“Somos quem podemos ser...Sonhos que podemos ter(E teremos)...”

(Humberto Gessinger)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Planta baixa da câmara climática com o esquema de distribuição das baias e dos equipamentos. Fonte: adaptado de Marques et al. (2022).....	19
Figura 2 - valores médios dos dados climatológicos, temperatura do ar (TA), umidade relativa (UR) e índice de temperatura e umidade (ITU9).	25
Figura 3 - Frequência cardíaca (FC) versus ITU9.	26
Figura 4 - Frequência respiratória (FR) versus ITU9.	26
Figura 5 - Temperatura superficial (TS) versus ITU9.	27
Figura 6 - Temperatura retal (RT) versus ITU9.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Proporção dos ingredientes e composição química da dieta experimental utilizada, com base na quantidade de matéria seca.	21
Tabela 2 - Modelos utilizados para o cálculo Índice de Temperatura e Umidade (THI).	22
Tabela 3 - Correlação de Pearson entre as variáveis ITU1, ITU2, ITU3, ITU4, ITU5, ITU6, ITU7 e ITU8, FC, FR, TS e TR	24

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo geral.....	14
2.2	Objetivos específicos.....	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1	Caprinocultura	14
3.2	Estresse térmico	15
3.3	Índices de conforto térmico.....	16
3.4	Índice de temperatura e umidade - ITU.....	16
3.5	Medidas de tolerância ao calor	17
3.6	Variáveis fisiológicas	17
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	19
4.1	Declarações de ética.....	19
4.2	Animais e alojamento	19
4.3	Tratamentos e delineamento experimental	20
4.4	Procedimentos experimentais	20
4.5	Variáveis ambientais	22
4.6	Respostas fisiológicas.....	22
4.7	Análises estatísticas.....	23
5	RESULTADOS	23
5.1	Correlação entre ITUs, FC, FR, TS e TR.....	23
5.2	Dados climatológicos	24
5.3	Determinação dos limiares de ITU9	25
6	DISCUSSÃO	28
7	CONCLUSÃO.....	30
	REFERÊNCIAS.....	31

RESUMO

O objetivo deste estudo foi identificar o índice de temperatura e umidade (ITU) mais adequado, assim como seus valores limiares para caprinos da raça Anglo Nubiana, quando submetidos a diferentes temperaturas do ar (TA). Foram utilizados seis caprinos machos da raça Anglo Nubiana, com idade média de oito meses e peso vivo médio de $33,63 \pm 0,80$ kg, alocados em baias metabólicas de $0,58 \text{ m}^2$, para o ensaio experimental. Os animais foram divididos em dois grupos, com três animais cada, sendo distribuídos no interior de uma câmara climática, em delineamento inteiramente casualizado. Foram avaliados quatro tratamentos (níveis de temperatura do ar), sendo de 20 (TA de limite inferior da zona de conforto térmico (ZCT)), 24 (TA dentro da ZCT), 28 (TA dentro da ZCT) e $32 \text{ }^\circ\text{C}$ (TA acima da ZCT), respectivamente, onde cada animal confinado foi considerado uma parcela experimental (seis repetições). Foram avaliados a frequência cardíaca (FC), a frequência respiratória (FR) e a temperatura retal (TR). Foi observado o comportamento dos valores ITU9 em função da TR com limiar que sugeriu que um aumento no TR foi observado a partir do estresse térmico moderado, mostrando que esta variável fisiológica é um indicador sensível do equilíbrio térmico dos animais. Os ITUs limiares podem ser usados como ferramenta para verificar a adaptabilidade dos caprinos.

Palavras-chaves: índices térmicos, respostas fisiológicas, conforto térmico.

ABSTRACT

The objective of this study was to identify the threshold temperature and humidity index (THI) for goats, for better management of thermal stress. Six Anglo Nubian goats, with an average age of eight months and an average live weight of 33.63 ± 0.80 kg, allocated in 0.58 m² metabolic stalls, were used for the experimental test. The animals were divided into two groups, with three animals each, being distributed inside the climatic chamber in a completely randomized design. They were evaluated in four treatments (temperature levels), being 20 (AT of the lower limit of the thermal comfort zone (TCZ)), 24 (AT within the TCZ), 28 (AT within the TCZ) and 32 °C (AT above the TCZ), respectively, each confined animal was considered an experimental plot (six repetitions). Heart rate (HR), respiratory rate (RR) and rectal temperature (RT) were evaluated. The behavior of THI9 values as a function of TR with a threshold was observed, which suggested that an increase in TR was observed from moderate thermal stress, showing that this physiological variable is a sensitive indicator of the animals' thermal balance. Threshold THIs can be used as a tool to verify the adaptability of goats.

Keywords: índices térmicos, respostas fisiológicas, conforto térmico.

1 INTRODUÇÃO

A região Nordeste possui tradição e potencial para a criação de caprinos e ovinos, visto que as condições edafoclimáticas favorecem a adaptabilidade desses animais, além disso, se tem a facilidade na comercialização dos animais e de produtos oriundos destes (carne, lã e leite) (SILVA et al., 2019).

Desta forma, compreender os efeitos do estresse térmico no corpo do animal pode auxiliar a diferenciar as técnicas que levam em alternativas de produção. Pequenos ruminantes são importantes neste cenário, particularmente para pequenos agricultores em zonas áridas, caracterizando 56% da população doméstica global de ruminantes (MARINO et al., 2016).

Animais bem apropriados, que apresentam perdas mínimas de produção são definidos por conservar a produtividade ou mesmo atingir mínima perda no decorrer do episódio de estresse (WEST, 2003). Segundo Oliveira (2004) a temperatura é um elemento climático condicionante para conforto térmico, em que determina o funcionamento fisiológico dos animais, isto porque, abrange toda a superfície corporal, o que influencia na produtividade dos sistemas pecuários pois afeta diretamente a velocidade das reações que ocorrem no organismo. Os efeitos conseguem ser diretos (termorregulação, sistema endócrino, metabolismo, produção e reprodução) e indiretos (impactos do ambiente na disponibilidade de alimentos e água, populações de pragas e patógenos e resistência do sistema imunológico) (COLLIER et al., 2018). Animais homeotérmicos exibem diferentes comportamentos e respostas fisiológicas ao ambiente em que se situam-se devido os mesmos mostrarem numerosas estratégias de termorregulação (LIMA et al., 2014). De acordo com Silva (2005), o organismo do animal sofre ação das variáveis ambientais (fatores estressantes ao animal), levando-o a expressar algumas de reações, sendo possível estas reações serem avaliadas por meio do comportamento das variáveis fisiológicas. Desse modo, os animais estão sempre trocando energia com o ambiente circundante (FONSECA et al., 2014).

O Índice de Temperatura e Umidade (ITU) tem sido aplicado para caracterizar conforto térmico de animais, e leva em consideração as temperaturas dos termômetros de bulbo seco e bulbo úmido (SILVA, 2000).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo foi identificar o índice de temperatura e umidade (ITU) mais adequado, assim como seus valores limiares para caprinos da raça Anglo Nubiana, quando submetidos a diferentes temperaturas do ar (TA).

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar as respostas fisiológicas de caprinos da raça Anglo Nubiana quando submetido à diferentes temperatura do ar;
- Avaliar o modelo de ITU apropriado para a avaliação das condições de conforto/estresse térmico de caprinos da raça Anglo Nubiano submetidos à diferentes temperaturas do ar;
- Determinar os limiares de conforto e estresse térmico de caprinos da raça Anglo Nubiana, quando submetidos a diferentes temperaturas do ar.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Caprinocultura

Diante do cenário que se manifestou, geralmente, economicamente adepto aos inúmeros setores do agronegócio, numerosas cadeias produtivas no Brasil conseguiram se conservar ou adquirir um excelente desempenho segundo dados do Fundo Monetário Internacional – FMI (2019). Porém, a cadeia de caprinos e ovinos tolerou importantes dificuldades em seus percursos, uma certificação do Ministério da Integração Nacional – MIN(BRASIL, 2017), principalmente no que se refere às questões pertencentes às dificuldades enfrentadas pelos pequenos produtores rurais para aproximarem bom comportamento técnico econômico com a operação (SOUSA FILHO e BONFIM, 2013).

Nas últimas décadas, as criações de ovinos e caprinos se manifestaram de forma gradativa e pontual no território brasileiro, tornando-se as regiões Sul e Nordeste, nesta ordem, as principais produtoras das duas espécies. Alterações houveram em suas composições, contudo as regiões que concentram ainda o maior efetivo e total de produtores: no Sul estão 21,2% dos ovinos, quando no Nordeste, 93,3% dos caprinos (IBGE, 2018).

No Brasil, vivem diversas raças com aptidão lucrativas, direcionadas em maior ou menor grau à produção de carne, leite, lã e pele de qualidade, segundo indica a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba – Codevasf (CODEVASF, 2011).

O desenvolvimento da caprinovinocultura no Brasil altera conforme a região e características dos sistemas de produção, a durabilidade nas relações através de criadores, frigoríficos e distribuidores comerciais, bem como o decorrente grau de especificidade dos produtos transacionados (MALAFAIA et al., 2006).

3.2 Estresse térmico

O estresse térmico pode ser compreendido como um evento que afeta a homeostase e a saúde de um animal devido a uma carga excessiva de calor ou frio extremo, causando problemas fisiológicos ou até a morte do animal (GAUGHAN et al., 2012). No contexto das mudanças climáticas tal temática tem ganhado notoriedade no cenário científico, principalmente pelo aumento populacional e a necessidade de garantir-se a segurança alimentar mundial (HENG et al., 2022).

O relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC, estimou um aumento de 1,5°C da temperatura superficial do planeta entre 2030 e 2052 (IPCC 2018). Assim, pesquisadores têm somado esforços em pesquisas com o bem-estar animal tentando minimizar as perdas econômicas decorrentes dos efeitos do clima, especialmente nos trópicos (SOUZA e BATISTA, 2012).

O estresse térmico surge quando a produção de calor endógeno de um animal é maior que sua capacidade de perder/dissipar calor. Assim, a conexão básica entre os anmedeirosimais e seu ambiente térmico é disciplinada pelo conceito da zona de conforto térmico (ZCT) (SANTOS et al., 2021). O intervalo varia conforme o tipo e categoria animal, mas a ideia central é que na ZCT o animal terá baixo custo de energia destinado a termorregulação, conservando e destinando a energia da dieta para o máximo desempenho produtivo (OLIVEIRA e TURCO, 2013).

Portanto, considerando a perspectiva microclimática, a quantificação do conforto térmico é regularmente efetuada utilizando-se de índices térmicos, relacionando (em sua maioria) a temperatura e a umidade do ar do ambiente de criação, com intervalos previamente definidos baseados em indicadores de estresse térmico animal (respostas fisiológicas e comportamentais do animal) (CASTRO JÚNIOR et al., 2021). Entretanto, essas mensurações permitem uma aproximação do perfil térmico ambiental e possuem limitações (BURIOL et al., 2015).

Esses índices são fundamentais para a compressão das trocas de calor dos animais e desenvolver o zoneamento bioclimatológico e avaliar a participação intensa de cada variável térmica ambiental na estruturação do índice (MEDEIROS et al., 2005). No entanto, o ambiente

de criação é estabelecido pelo espaço físico e social em que o animal está inserido.

A elevada temperatura ambiental, a umidade do ar e a radiação solar direta são as essenciais variáveis climáticas, encarregadas por provocarem desconforto fisiológico que leva os animais a adotarem medidas fisiológicas e comportamentais para preservar a homeotermia, culminando com a redução no desempenho produtivo (SOUZA et al., 2010).

3.3 Índices de conforto térmico

A aplicação da temperatura do ar como medida no conforto térmico dos animais é uma técnica presente na produção animal. No entanto, o ar é caracterizado por um conjunto de elementos de relações complexas devendo ser compreendido pela interação dos fatores físicos que o modificam. Esta interação é que descreve como são favorecidas as trocas térmicas entre animais e meio (AZIZ et al., 2016).

O progresso de um índice de estresse térmico é provável ser baseado em fatores biológicos (HAHN et al., 1997). Os quatro fundamentais elementos que agem sobre a sensação térmica são a temperatura do ar, radiação térmica, umidade e a velocidade do ar, desta forma, índices de conforto térmico combinando dois ou mais desses elementos têm sido aplicados para avaliar o impacto ambiental sobre os animais, porquanto descrever mais precisamente os efeitos do ambiente sobre a capacidade do animal em dissipar calor (WEST, 2003; NEVES, 2008).

O Índice de Conforto Térmico dentre outros é o comum para o estudo da tolerância ao calor em ovinos, visto que foi desenvolvido no sentido de avaliar os efeitos ambientais de ovinos no Brasil. O presente índice tem comprovado que têm maior correlação com a temperatura retal e taxa de respiração, na ocasião em que comparados aos ITGU e ITU (NEVES, 2008).

3.4 Índice de temperatura e umidade - ITU

Diversos índices prestes a medir a tolerância ao calor foram desenvolvidos ao longo dos anos. O índice de temperatura e umidade -ITU (THOM, 1959), a princípio proposto para conforto humano, dispõe abundantemente sendo utilizado como um indicador de estresse térmico em animais, durante os ajustes foram feitos para o vento e radiação solar fundamentado em mudanças nos escores ofegante (MADER et al., 2010) e diante um índice da taxa de respiração com temperatura de bulbo seco, umidade relativa (UR), velocidade do vento (VV), e radiação solar (EIGENBERG et al., 2005). O Índice ITU leva em consideração os pesos com destino às temperaturas dos termômetros de bulbo seco e úmido ou a temperatura do ponto de orvalho (SILVA, 2000).

O presente índice é simples de calcular, pois propõe apenas os dados meteorológicos

que estão à disposição nas estações (BERMAN et al., 2016). Deste modo, é possível evitar desconforto em determinadas épocas do ano analisando os índices de conforto térmico, e considerando os períodos no qual há necessidade de implementar medidas compensatórias para preservar o bem-estar dos animais (STORTI et al., 2019).

3.5 Medidas de tolerância ao calor

Grande parte dos pequenos ruminantes são criados em grupos extensivos, não existindo um comando específico das condições climáticas que beneficie os animais, aumentando sua produção, neste contexto o conhecimento do grau de adequação dos animais e condições climáticas específicas tornam se fatores limitantes na cadeia produtiva (MENGISTU et al., 2017).

No entanto, a eficiência desses mecanismos necessita do gradiente térmico através do núcleo corporal e a pele e deste com o meio ambiente. Uma pele mais quente busca a perder calor em contato com o ar mais frio, desde modo, quanto maior o gradiente, maior será da mesma forma a dissipação de calor, se a temperatura do ar aumenta, a perda de calor de maneira sensível é diminuída, portanto será necessário a utilização dos mecanismos evaporativos, sudorese e respiração (SANTOS et al., 2006), que estabelecem mais desgaste energético para os animais.

A zona de termoneutralidade ou zona de conforto térmico é um conceito que estabelece a inter-relação do animal com o seu ambiente e que dentro dessa expansão térmica o animal é capaz de preservar a homeotermia sem que seus mecanismos de termorregulação sejam ativados. A temperatura crítica inferior e a superior suprimem os extremos dessa zona (YOUSEF e JOHNSON, 1963). De acordo com Swenson (2006), a temperatura crítica inferior com destino a ovinos adultos é de -2°C e a temperatura crítica elevada de 20°C .

3.6 Variáveis fisiológicas

Várias características podem ser utilizadas para avaliar a adaptação dos animais ao ambiente térmico envolvendo os parâmetros fisiológicos, como a temperatura retal, temperatura timpânica, temperatura ocular, temperatura corporal, frequência respiratória e cardíaca - (SILVA, 2000).

Valores de FC compreendidos entre 70 e 100 batimentos/min e valores de FR variando entre 15 a 30 mov/min foram considerados normais para a espécie em estudo, indicando que os animais não estavam submetidos a uma situação de estresse térmico relevante (ROUT et al., 2017).

Portanto, propriedades da pele e pelagem também influenciam as trocas de energia, tal como cor, densidade, diâmetro, profundidade, transmissividade e absorção de calor (GEBREMEDHIN, 1985). Bertpaglia et al. (2007) da mesma forma mostraram que as características da pele influenciam a tolerância térmica dos animais.

Além das elevadas temperaturas, a ingestão de alimentos também influencia a produção de calor nos ruminantes e, até agora, tanto a quantidade quanto a qualidade do alimento influenciam na produção do calor endógeno, ocasionando aumento das variáveis fisiológicas (FAÇANHA et al., 2012).

A reação do animal ao estresse por calor é por causa disso a alterações na temperatura corporal, frequência respiratória e frequência cardíaca, tal como por taxa de transpiração. Isto resulta em alterações nos parâmetros sanguíneos como estresse térmico e expande consideravelmente as perdas de água e íons em ruminantes (BEEDE e COLLIER, 1986), conforme com ampliação no plasma e no volume extracelular. O estresse térmico da mesma forma leva à ativação dos mecanismos de perda de calor, dissipação de calor próximo o ambiente e diminuição da produção calor metabólico (SILANIKOVE, 2000).

As proteínas de choque térmico (HSP), mediadas por aspectos de transcrição de choque térmico (HSFS), por essa razão a função ampliar proteínas estruturais desnaturadas, danificadas pelo estresse, consegue ser induzida como uma defesa em combate com os danos ao tecido apropriado ao estresse térmico (HALPIN et al., 2014). Síntese das HSP pode intervir com a produção de proteínas aplicadas em crescimento e reprodução. A HSP70 em especial, tem sido demonstrada replicar tanto ao estresse agudo, como ao de pequeno prazo (TOMANEK et al., 2003) e ao cansaço crônico e a extensa duração (HELMUTH et al., 2001), e sua avaliação aparenta ser o superior preditor de tolerância ao calor (SORTE et al., 2005).

A pele protege o organismo do calor e do frio, e sua temperatura quem sabe, especialmente, das situações ambientais, como temperatura, umidade e vento, e das circunstâncias fisiológicas, tal como a vascularização e a evaporação do suor. Diante das temperaturas mais amenas, os animais consomem calor sensível para o ambiente por meio da pele, por radiação, por condição e por convecção. Quando os animais se encontram sob estresse pelo calor, as perdas sensíveis são mínimas, e o fundamental processo de ausência de calor é latente, isto é, pela evaporação e respiração (SILVA, 2000).

Animais bem adaptados são caracterizados por manutenção, ou baixa perda produtiva, no decorrer do período de estresse, aumento da eficiência reprodutiva, elevação da resistência a doenças, longevidade e baixo índice de mortalidade. Quando o animal sofre estresse térmico, a ingestão de alimento é limitada e o metabolismo se torna mais prolongado, provocando uma

hipofunção da tireóide. Isto influencia o crescimento, eficiência reprodutiva, conversão alimentar e produção de leite, ocasionando consideráveis perdas econômicas (WEST, 2003).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Declarações de ética

Os procedimentos experimentais adotados na presente pesquisa foram previamente aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, sob o protocolo CEP 284-2015.

4.2 Animais e alojamento

O experimento foi executado no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente, vinculado à Unidade Acadêmica do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, na cidade de Campina Grande, Paraíba, Brasil, em uma câmara climática com dimensões de 2,28 × 2,50 × 2,60 m de largura, comprimento e altura, respectivamente (Figura 1).

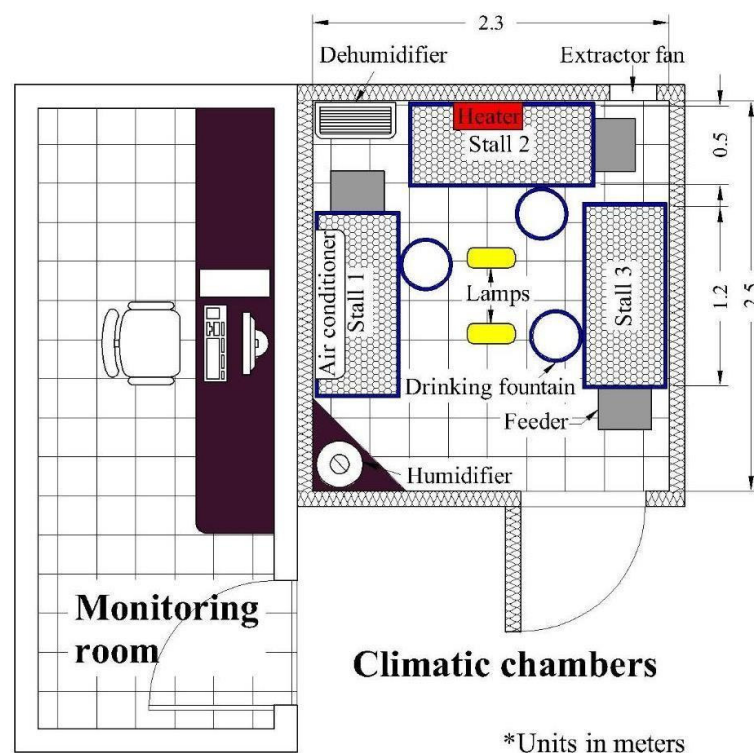


Figura 1 - Planta baixa da câmara climática com o esquema de distribuição das baias e dos equipamentos. Fonte: adaptado de Marques et al. (2022).

Em cada nível de temperatura do ar (TA) testado, foram avaliados seis caprinos machos da raça Anglo Nubiana, com idade média de oito meses e peso vivo médio de $33,63 \pm 0,80$ kg, que

foram previamente identificados, pesados, vermifugados e distribuídos aleatoriamente em baias metabólicas que possuíam 0.58 m² de área disponível ao animal, providas de comedouro e bebedouro. Para a avaliação dos ovinos submetidos a cada TA, os animais foram divididos em dois grupos de três animais cada, devido à capacidade de alojamento da câmara climática.

4.3 Tratamentos e delineamento experimental

Os animais foram distribuídos no interior da câmara climática em delineamento inteiramente casualizado, onde foram submetidos a quatro diferentes níveis de temperatura do ar, de 20 (TA de limite inferior da zona de conforto térmico (ZCT)), 24 (TA dentro da ZCT), 28 (TA dentro da ZCT) e 32 °C (TA acima da ZCT), respectivamente, onde cada animal confinado foi considerado como sendo uma parcela experimental (seis repetições). As faixas de conforto/estresse térmico para caprinos Anglo Nubiano adotadas na experimentação foram determinadas com base nos resultados encontrados por Araújo et al. (2017). A umidade relativa do ar (UR) e a velocidade do vento (VV) foram controladas de modo a permanecerem em valores mais próximos possíveis de 60,0% e 1,0 m/s, respectivamente (MARQUES et al., 2021).

4.4 Procedimentos experimentais

Os animais foram mantidos por um período de 10 dias em cada uma das temperaturas do ar avaliadas, sendo cinco dias de adaptação (período pré-experimental) e cinco dias de coleta de dados (período experimental). A câmara climática era mantida lacrada durante todo o período pré-experimental e experimental, onde os animais eram submetidos durante todo o tempo às temperaturas testes, sendo aberta apenas para a entrada do avaliador no momento das coletas experimentais e também para a oferta e contabilização de ração e água, que ocorriam simultaneamente com a limpeza da instalação. A iluminação no interior da câmara climática era feita de modo artificial, com lâmpadas fluorescentes que permaneceram acesas durante todo o período de confinamento dos animais, com iluminação média de 257 lx.

A água e a ração foram fornecidas *ad libitum*. A água era ofertada sempre às 6:00 h, durante todo o período de confinamento dos animais, em baldes calibrados (capacidade de 12 L) fabricados em cloreto de polivinila (Vonder[®], Paraná, Brasil), onde o consumo foi quantificado diariamente, nos dias que compreenderam o período experimental, sendo calculado pela diferença entre a quantidade de água fornecida e a quantidade que sobrava nos bebedouros. Para a quantificação do consumo de água foi considerada também a quantidade de água evaporada dos bebedouros e para isso foi posicionado na região central da câmara

climática um recipiente com água (idêntico aos bebedouros), onde era diariamente realizada a aferição e a reposição do volume de água perdido por evaporação, que era também subtraído do consumo diário de água dos animais.

A oferta de ração aos animais era realizada duas vezes ao dia, às 6:00 e às 16:00 h. A relação volumosa/concentrada na dieta experimental utilizada foi de 50:50. A quantidade de ração fornecida diariamente foi ajustada de acordo com o consumo do dia anterior de cada animal, de modo que sempre houvesse sobras mínimas, em torno de 10% do total fornecido, para que fosse garantido um consumo à vontade. A ingestão de matéria seca (DMI) pelos animais, foi considerada como sendo a diferença entre a quantidade de ração ofertada e as sobras. As proporções dos ingredientes e a composição química da dieta experimental utilizada, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Proporção dos ingredientes e composição química da dieta experimental utilizada, com base na quantidade de matéria seca.

Ingredientes	Kg
Farelo de Milho	34.69
Farelo de Soja	13.32
Suplemento Mineral ¹	1.34
Calcário	0.45
Feno de Tifton	50.20
Composição Química	(%)
Matéria Seca	90.84
Proteína Bruta	13.15
Extrato Etéreo	1.43
Fibra em Detergente Neutro	51.94

¹Suplemento mineral (nutriente/kg de suplemento): vitamina A 135.000,00 U.I.; Vitamina D3 68.000,00 U.I.; vitamina E 450,00 U.I.; cálcio 240 g; fósforo 71 g; potássio 28,2 g; enxofre 20 g; magnésio 20 g; cobre 400 mg; cobalto 30 mg; cromo 10 mg; ferro 2500 mg; iodo 40 mg; manganês 1350 mg; selênio 15 mg; zinco 1700 mg; flúor máximo 710 mg; Solubilidade do Fósforo (P) em Ácido Cítrico a 2% (min.).

4.5 Variáveis ambientais

A temperatura e a umidade relativa do ar no interior da câmara climática foram registradas e controladas por meio de um controlador e indicador digital de temperatura e umidade relativa (Full Gauge Controls[®], MT-530 PLUS, Rio Grande do Sul, Brasil, faixas de operação de -10 a 70 °C TAe de 10 a 85% UR) com comunicação serial com o software Sitrad[®]. O controlador recebia os dados médios de TA e UR através de um sensor combinado de temperatura e umidade relativa (Full Gauge Controls[®], SB56, Rio Grande do Sul, Brasil, faixas de operação de -10 a 70 °C TA, 10 a 85% UR, precisão ±5%) posicionado na altura média da cabeça dos animais na região central da câmara climática, a cada 15 min, registrando e controlando a TA e a UR de forma a permanecerem sempre na faixa de controle desejada (Setpoint), utilizando para isso os equipamentos detalhados na Figura 1.

Tabela 2 - Modelos utilizados para o cálculo Índice de Temperatura e Umidade (THI).

Índice	Equações	Autor
ITU1	$(1,8 \times TA + 32) - [(0,55 - 0,0055 \times UR) \times (1,8 \times TA - 26,8)]$	NRC (1971)
ITU2	$TA + 0,36 \times Tpo + 41,2$	Yousef (1985)
ITU3	$(0,35 \times TA + 0,65 \times Tbu) \times 1,8 + 32$	Bianca (1962)
ITU4	$(0,55 \times TA + 0,2 \times Tpo) \times 1,8 + 32 + 17,5$	NRC (1971)
ITU5	$(0,15 \times TA + 0,85 \times Tbu) \times 1,8 + 32$	Bianca, 1962b
ITU6	$(0,4 \times (TA + Tpo)) \times 1,8 + 32 + 15$	Thom (1959)
ITU7	$(TA + Tbu) \times 0,72 + 40,6$	NRC (1971)
ITU8	$(0,8 \times TA) + [(UR/100) \times (TA - 14,4)] + 46,4$	Mader et al. (2006)
ITU9	$TA - \{(0,31 - 0,31 \times UR/100) \times (TA - 14,4)\}$	Marai et al. (2001)

TA: Temperatura de bulbo seco, Tpo: Temperatura de ponto de orvalho, Tbu: Temperatura de bulbo úmido e UR: Umidade relativa.

4.6 Respostas fisiológicas

Para a avaliação das alterações fisiológicas dos animais em função dos diferentes níveis de temperatura do ar, foram coletados os dados de frequência cardíaca (FC), frequência respiratória (FR), temperatura retal (TR) e temperatura superficial (TS). As coletas dos dados ocorreram todos os dias duranteo confinamento dos animais, nos horários das 08:00, 12:00 e 16:00 h, tanto no período pré- experimental quanto no período experimental, sendo que as coletas realizadas neste primeiro período serviram apenas para a adaptação dos animais aos procedimentos.

A frequência cardíaca foi aferida com o auxílio de um estetoscópio (Incoterm[®], Rappaport ER100, Rio Grande do Sul, Brasil) que foi posicionado na região da terceira costela dos animais, na região lateral do tórax, durante um minuto, contando-se o número de movimentos por minuto, sendo esta variável expressa em unidades de batimentos/min. A frequência respiratória, foi contabilizada pela observação dos movimentos laterais do flanco, durante um minuto, sendo expressa em número de movimentos por minuto (mov/min).

A temperatura retal foi determinada usando um termômetro clínico veterinário digital (Incoterm[®], Termomed, Rio Grande do Sul, Brasil, faixa de temperatura 32,0~43,0 °C e precisão de $\pm 0,1$ °C) inserido a ~2,0 cm no reto dos animais, até a estabilização da leitura. A variação normal da TR para os caprinos avaliados foi considerada entre os valores de 38,5 e 39,7 °C (SHILJA et al., 2016).

4.7 Análises estatísticas

A correlação entre diferentes ITUs e os parâmetros fisiológicos FC, FR, TS e TR foi analisada pela correlação de Pearson utilizando o software SPSS19. Correlação significativa foi considerada quando $P < 0,05$. O ITU com correlação numericamente maior e significativa ($P < 0,05$) com todos os parâmetros fisiológicos foi utilizado ainda para análise de regressão. A análise de regressão segmentada foi realizada por meio do programa SegReg (OOSTERBAAN, 2017). A análise de regressão segmentada foi utilizada para determinar os limiares de ITU em relação aos diferentes parâmetros fisiológicos estudados. A regressão segmentada divide a variável explicativa em duas ou mais regressões lineares e localiza a mudança pontual na tendência linear do ITU, que é considerada o ponto de ruptura. A existência de ponto de ruptura foi testada estatisticamente a diferença entre os coeficientes de regressão das linhas de regressão linear.

5 RESULTADOS

5.1 Correlação entre ITUs, FC, FR, TS e TR

A correlação entre diferentes ITUs calculados e FC, FR, TS e TR é apresentada na Tabela 3. Observou-se correlação significativa ($p < 0,01$) entre todos os ITUs avaliados, com as respostas FC, FR, TS e TR, porém, o coeficiente de correlação de ITU9 com TR, FR, TS e TR foi numericamente mais elevado em comparação com os demais ITUs. Assim, com base em valores numéricos do coeficiente de correlação, $ITU9 = TA - \{(0,31 - 0,31 \times UR/100) \times (TA - 14,4)\}$ foi considerado o mais adequados para mensurar o nível estresse térmico ao qual os

caprinos estavam submetidos. Os valores numéricos dos coeficientes de correlação de ITU1, ITU2, ITU3, ITU4, ITU5, ITU6, ITU7 e ITU8 com FC, FR, TS e TR foram encontrados numericamente semelhantes.

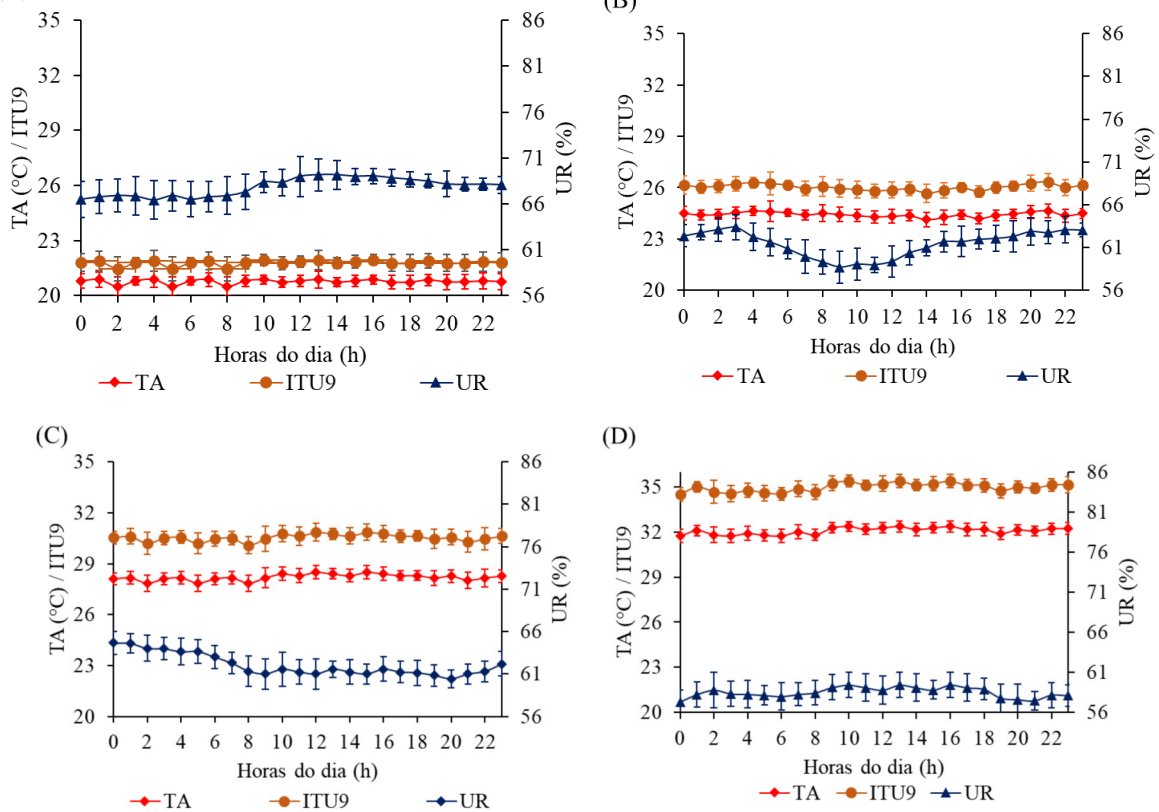
Tabela 3 - Correlação de Pearson entre as variáveis ITU1, ITU2, ITU3, ITU4, ITU5, ITU6, ITU7 e ITU8, FC, FR, TS e TR

	ITU1	ITU2	ITU3	ITU4	ITU5	ITU6	ITU7	ITU8	ITU9	FC	FR	TS
ITU2	1	1										
ITU3	0,998	0,998	1									
ITU4	1	1	0,998	1								
ITU5	0,996	0,995	0,999	0,995	1							
ITU6	0,999	0,999	1	0,999	0,998	1						
ITU7	0,999	0,999	1	0,999	0,998	1	1					
ITU8	1	1	0,998	1	0,996	0,999	0,999	1				
ITU9	1	1	0,997	1	0,994	0,999	0,999	1	1			
FC	0,914	0,919	0,914	0,918	0,909	0,917	0,917	0,914	0,919	1		
FR	0,889	0,895	0,889	0,879	0,883	0,893	0,893	0,889	0,899	0,914	1	
TS	0,932	0,931	0,925	0,931	0,919	0,928	0,928	0,932	0,934	0,835	0,781	1
TR	0,871	0,870	0,864	0,870	0,857	0,868	0,868	0,871	0,874	0,840	0,756	0,876

5.2 Dados climatológicos

Na Figura 2 estão apresentados os valores médios dos dados climatológicos, temperatura do ar (TA), umidade relativa (UR) e índice de temperatura e umidade (ITU9), para o período experimental, nas quatro condições térmicas avaliadas. Sendo constatado os valores médios de $20,8 \pm 0,3$ (com UR de $67,8 \pm 1,5\%$), $24,4 \pm 0,3$ (com UR de $61,1 \pm 1,4\%$), $28,2 \pm 0,4$ (com UR de $62,1 \pm 1,4\%$) e $32,1 \pm 0,3$ (com UR de $58,5 \pm 1,6\%$) °C, respectivamente, para cada nível de TA proposto. Enquanto a média diária de ITU9 variou entre 67,5 e 82,7, respectivamente).

Figura 2 - valores médios dos dados climatológicos, temperatura do ar (TA), umidade relativa (A)



(UR) e índice de temperatura e umidade (ITU9).

5.3 Determinação dos limiares de ITU9

Como o coeficiente de correlação de ITU9 foi numericamente mais elevado e significativamente correlacionado com FC, FR, TS e TR, o limiar ITU9 para FC, FR, TS e TR foi determinado por análise segmentada de regressão. O melhor ajuste de regressão segmentada entre o ITU9 e a Frequência cardíaca (FC) dos caprinos, foi para o ITU correspondente à intersecção dos dois segmentos conectados com linhas inclinadas sendo este assumido como o ponto de ruptura ou limiar de ITU9 (23,98). Apresentando coeficientes de regressão (RC) significativo ($p < 0,05$) tanto para a linha esquerda, quanto para linha à direita do ponto de ruptura (Tipo 2).

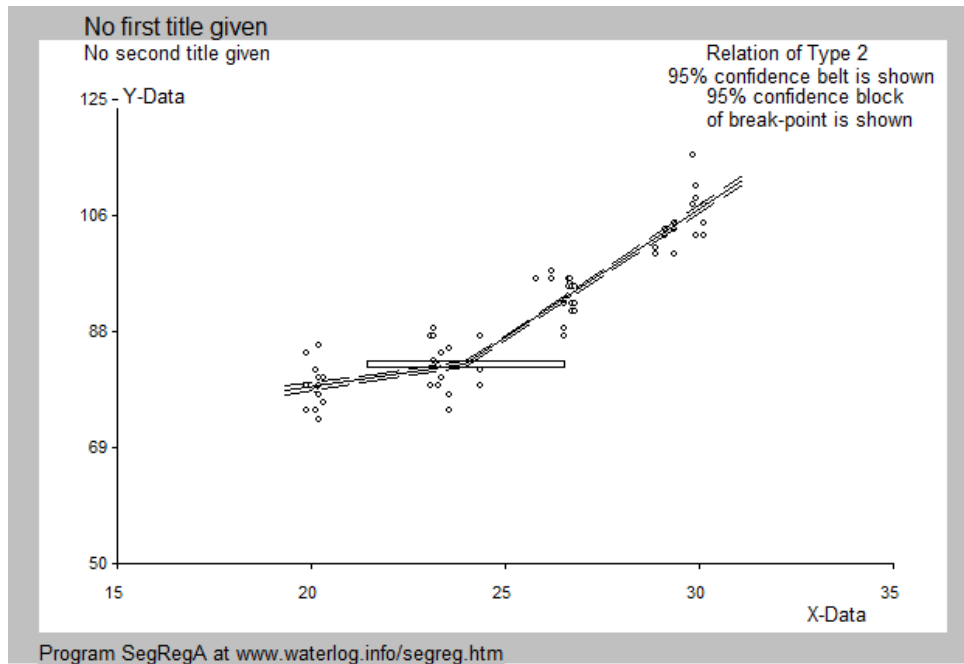


Figura 3 - Frequência cardíaca (FC) versus ITU9.

Ao analisar a regressão segmentada do ITU9 em função da Frequência respiratória (FR), percebe-se que a mesma apresentou uma mudança significativa no coeficiente de regressão, correspondente à intersecção de dois segmentos conectados com linhas inclinadas, sendo este assumido como o ponto de ruptura ou limiar ITU9 (25,31). Apresentando coeficientes de regressão (RC) significativo ($p < 0,05$) tanto para a linha esquerda, quanto para a direita do ponto de ruptura (Tipo 2).

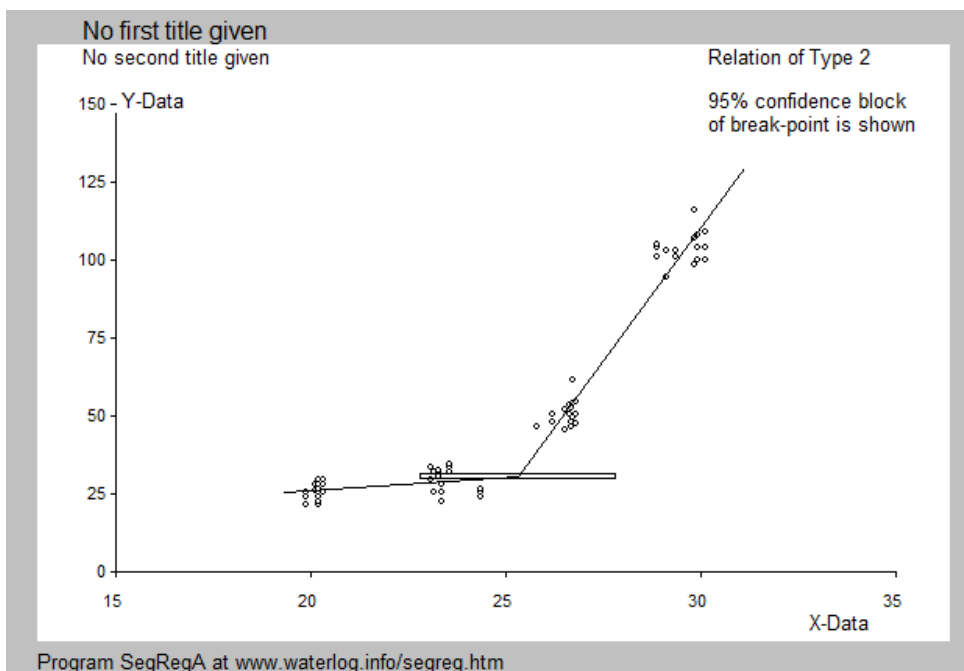


Figura 4 - Frequência respiratória (FR) versus ITU9.

O melhor ajuste para a regressão segmentada entre ITU9 e a temperatura superficial (TS), apresentou ponto de ruptura ou limiar de ITU (27,86), correspondente à intersecção de dois segmentos de linha de regressão. O coeficiente de regressão (RC) da linha esquerda para o ponto de ruptura é significativo ($p < 0,05$) enquanto que, RC da linha direita para o ponto de ruptura é não significativo ($p > 0,05$). Observou-se uma mudança significativa entre RC da linha esquerda e do segmento da linha direita até o ponto de ruptura (Tipo 3).

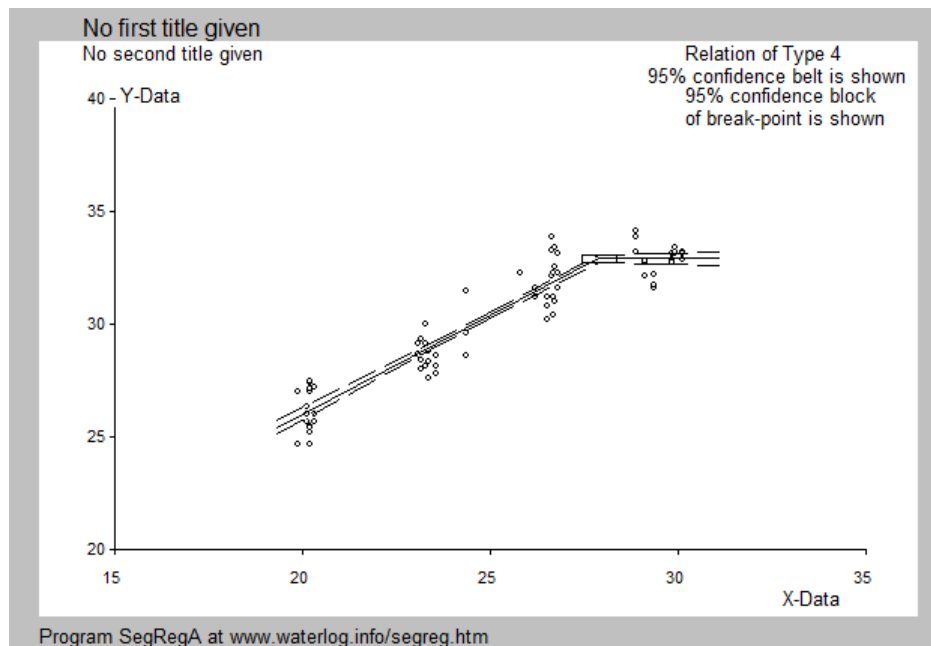


Figura 5 - Temperatura superficial (TS) versus ITU9.

Ao analisar a regressão segmentada do ITU9 em função do parâmetro fisiológico TR, observa-se uma mudança significativa no coeficiente de regressão, correspondente à intersecção de dois segmentos conectados com linhas inclinadas, sendo assumido como o ponto de ruptura ou limiar ITU9 (21,31). O coeficiente de regressão (RC) da linha esquerda para o ponto de ruptura é não significativo ($p > 0,05$) enquanto que, RC da linha direita para o ponto de ruptura é significativo ($p < 0,05$). Observou-se uma mudança significativa entre RC da linha esquerda e do segmento da linha direita até o ponto de ruptura (Tipo 3).

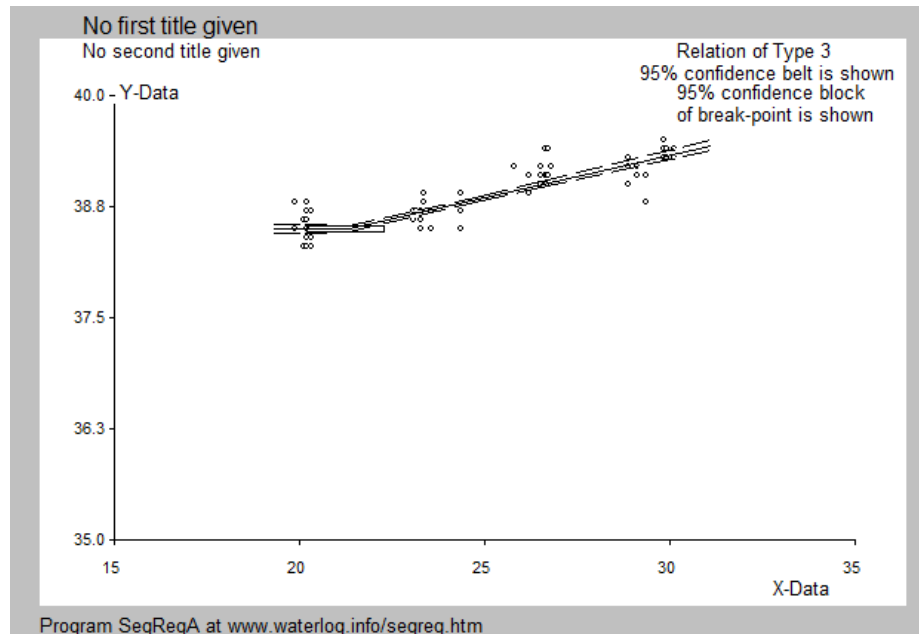


Figura 6 - Temperatura retal (RT) versus ITU9.

6 DISCUSSÃO

No contexto das mudanças climáticas, visando uma produção sustentável necessita-se de uma evolução nas estratégias para combater os efeitos negativos dessas mudanças. Uma possível solução é avaliar o efeito da temperaturas do ar acima da zona termoneutra, através das respostas dos caprinos, que são animais homeotérmicos que quando submetidos a condições adversas empregam os mecanismos termorreguladores para compensar o ganho de calor, e manter a temperatura interna do corpo dentro de limites estreitos de variação e atingir o equilíbrio térmico (MCKINLEY et al., 2017).

A quantificação do nível de estresse ambiental pode ser alcançada através da medição do ITU e vinculando-o às respostas dos animais em termos de respostas fisiológicas, bioquímicas, endocrinológicas, moleculares ou comportamentais. Para identificação de um modelo de ITU mais adequado, para uma determinada condição ambiental, é imprescindível que vários modelos em voga sejam testados (SRIVASTAVA et al., 2021).

A determinação do limiar crítico em termos de ITU ajudaria na identificação das melhores condições ambientais para a criação dos caprinos. Além disso, é uma ferramenta não invasiva, que possibilita estimar com precisão os valores (parâmetros) como a taxa de pulso, a taxa de respiração e a temperatura retal, quantificando o nível de estresse nos animais.

No presente experimento, foram feitas correlações para identificar o melhor modelo para estimativa do estresse térmico através do ITU para as condições térmicas avaliadas, em que foram utilizadas as variáveis fisiológicas FC, FR, TS e TR para uma melhor determinação do

parâmetro estudado. Como as respostas fisiológicas ao estresse térmico variam qualitativamente e quantitativamente entre as espécies pecuárias, a espécie deve ser considerada durante a formulação do modelo de ITU (HAHN et al., 2009).

Os resultados do presente estudo também indicaram que a medição do estresse ambiental por meio do ITUs foi numericamente semelhante, embora as variáveis climatológicas utilizadas no modelo ITU fossem diferentes.

Após exposição prolongada ao estresse térmico, os caprinos acionam mecanismos fisiológicos específicos que lhes conferem o potencial de tolerar o estresse térmico. Como um mecanismo inevitável que se estabelece durante o estresse térmico, as variáveis fisiológicas são muitas vezes consideradas entre as medidas de bem-estar mais confiáveis, independentemente da raça. Estudos sobre o efeito do estresse térmico em caprinos identificaram uma relação linear entre o índice de temperatura umidade e as variáveis associadas aos mecanismos fisiológicos (SCHUELLER et al., 2014). No entanto, o grau de resposta pode variar com a magnitude do estresse térmico, bem como a raça avaliada.

A regressão segmentada entre ITU9 e FC, apresentou limiar de 23,98, com ponto de ruptura significativo ($p < 0,05$) tanto para a linha esquerda, quanto para a direita do ponto de ruptura (Tipo 2). Tal comportamento pode ser explicado, devido os caprinos responderem as informações estressantes, através da ativação dos sistemas nervosos autônomo simpático (SNS) e parassimpático. Estes sistemas são responsáveis pela ativação das respostas hormonais e fisiológicas (FAÇANHA et al., 2013). O estresse térmico prolongado resulta no aumento do fluxo sanguíneo periférico, através do aumento da frequência cardíaca (YADAV et al., 2016; MADHUSOODAN et al., 2019). Com o aumento do ritmo da frequência cardíaca (FC), as trocas de calor ocorrem tanto por meios sensíveis como insensíveis para o entorno imediato dos animais, tornando seu ambiente circundante mais confortável (PRAGNA et al., 2018; TODINI et al., 2007).

Geralmente, o aumento da frequência respiratória (FR) é uma das primeiras respostas fisiológicas aos estressores por calor em caprinos (GAUGHAN et al., 2000; PHULIA et al., 2010; KUMAR et al., 2018). Durante a exposição ao calor, os animais aumentam a FR para manter a homeotermia através da perda de calor evaporatório pelo trato respiratório e, assim, prevenir a ocorrência de estresse térmico (BERBIGIER et al., 1990). No presente estudo, a FR começou a aumentar quando o ITU atingiu o valor de 25,31. Embora tenham poucos estudos em caprinos sobre o ITU crítico em relação ao FR, mas o limiar de THI para FR foi relatado como inferior a 75 (SRIVASTAVA, et al., 2021) que foram comparáveis com os achados do presente estudo. A respiração é o processo de inalação de oxigênio, seguido de eliminação de

dióxido de carbono, produzido como resultado de metabolismos celular que levam à perda de umidade evaporativa do trato respiratório para manter o equilíbrio térmico dos animais (SILVA et al., 2017).

Vale ressaltar que a correlação do modelo de ITU9 com a TS não foi apenas numericamente, mas também significativamente maior em comparação com outros parâmetros fisiológicos, indicando que a TS é o parâmetro entre os parâmetros fisiológicos mais afetados pela mudança no ITU e podendo ser um indicador confiável de estresse térmico em caprinos. Muitos estudos concluíram que o aumento da TS, é justificado pelo aumento do fluxo sanguíneo para a superfície corporal e pela vasodilatação periférica, elevando assim a temperatura da pele, para facilitar a dissipação de calor por mecanismos não evaporativos (condução, convecção e radiação) (SOUZA et al., 2012). Como observado no presente estudo, a partir do limiar de ITU (27,86) os caprinos tiveram dificuldade para dissipação de calor de forma sensíveis, tendo o animal que recorrer a mecanismos de trocas de calor evaporativos (cutânea e/ou respiratória) para eliminar o excesso de calor.

No entanto, o mecanismo de troca de calor por meios evaporativos falha quando a temperatura ambiente aumenta além do nível limiar. Esta falha resulta posteriormente no aumento da temperatura corporal para ajudar na liberação do excesso de carga de calor. O aumento da TR é uma alternativa usada pelos caprinos para baixar a temperatura corporal para se manter em ambiente de conforto (MARQUES et al., 2021). Ao observar o comportamento dos valores de ITU9 em função da TR com limiar de 21,31, que sugeriu que um aumento na TR foi observado a partir do estresse térmico moderado, mostrando que esta variável fisiológica é um indicador sensível do equilíbrio térmico dos animais, e também mostra a ocorrência da ativação dos mecanismos termorreguladores evaporativos, para manter a temperatura do núcleo corporal dentro dos limites da normalidade diante das adversidades ambientais (KADZERE et al., 2002).

7 CONCLUSÃO

Verificou-se que o melhor modelo de ITU entre os nove diferentes modelos analisado foi $ITU9 = TA - \{(0,31 - 0,31 \times UR/100) \times (TA - 14,4)\}$, para quantificar os níveis do efeito do estresse térmico em relação aos parâmetro fisiológico, de caprinos da raça Anglo Nubiana, mantidos em câmara climática.

Os ITUs limiaries podem ser usados como ferramenta para verificar a adaptabilidade dos caprinos às elevadas temperaturas do ar.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, T. G. P.; FURTADO, D. A.; NASCIMENTO, J. W. B.; MEDEIROS, A. N.; LOPES NETO, J. P. Thermoregulatory responses and adaptability of Anglo-nubian goats maintained in thermoneutral temperature and under heat stress. **Journal of animal behaviour and biometeorology**, v. 5, p. 106-111, 2017.
- AZIZ, Z.; VARMA, G. G.; RAJI, K.; GLEEJA, V. L. Influence of temperature humidity index on the physiological parameters and growth rate of crossbred cattle calves. **International Journal of Applied and Pure Science and Agriculture**, v. 2, p. 187-190, 2016.
- BARBOSA, O. R.; SILVA, R. G. Índice de conforto térmico para ovinos. **Boletim de Indústria Animal**, v.52, n.1, p.29-35. 1995.
- BEEDE, D. K.; COLLIER, R. J. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during heat stress. **Journal of Animal Science**, v.62, p.543-550. 1986.
- BERBIGIER, P.; CABELLO, G. Effect of exposure to full sunshine on temperature regulation of pregnant dwarf goats of Guadeloupe (French West Indies), and on birth weight, T3 and T4 plasma levels of newborn kids. **Journal of Thermal Biology**, v. 15, n. 2, p. 109- 113, 1990.
- BERMAN, A.; HOROVITZ, T.; KAIM, M.; GACITUA, H. A comparison of THI indices leads to sensible heat-based heat stress index for shaded cattle that aligns temperature and humidity stress. **International Journal of Biometeorology**, v.60, n.10, p.1453-1462, 2016.
- BERTIPAGLIA, E. C. A.; SILVA, R. G.; CARDOSO, V.; FRIES, L. A. Hair coat characteristics and sweating rate of Braford cows in Brazil. **Livestock Science**, v. 112, p. 98-108, 2007.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Bases para o plano nacional de desenvolvimento da rota do cordeiro**. 2017. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/906653/rota-do-cordeiro> > . Acesso em: 15 de set. 2022.
- BUFFINGTON, D. E.; COLLAZOARROCHO, A.; CANTON, G.H. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, v. 24, n. 3, p. 711-0714, 1981.
- BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; RIGHU, E. Z.; BRESSAN, V. C. Conforto térmico para os seres humanos nas condições de ambiente natural em Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Rural**, v. 45, p. 223-230, 2015.
- CASTRO JÚNIOR, S. L. de.; SILVA, I. J. O. da. The specific enthalpy of air as an indicator of heat stress in livestock animals. **International Journal Of Biometeorology**, v. 65, p. 1-13, 2021.
- CODEVASF – COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA. **Manual de criação de caprinos e ovinos**. 2011. Disponível em: < <https://www.codevasf.gov.br/aceso-a-informacao/institucional/biblioteca-geral-rocha/publicacoes/manuais/manual-de-criacao-de-caprinos-e-ovinos.pdf> >. Acesso em: 15 de set. 2022.

COLLIER, R. J.; HALL, J. W.; RUNGRUANG, S.; ZIMBELMAN, R. B. Quantifying heat stress and its impact on metabolism and performance. **Department of Animal Sciences University of Arizona**, v. 68, p. 84, 2018.

EIGENBERG, R. A.; BROWN-BRANDL, T. M.; NIENABER, J. A.; HAHN, G. L. Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle. Part 2: Predictive relationships. **Biosystems Engineering**. v.91, n.1, p.111-118. 2005.

FAÇANHA, D. A. E.; CHAVES, D. F.; MORAIS, J. H. G.; VASCONCELOS, Â. M. D.; COSTA, W. P.; GUILHERMINO, M. M. Tendências metodológicas da avaliação da adaptabilidade ao ambiente tropical. **Revista brasileira de saúde e produção animal**, v. 14, p. 91-103, 2013.

FAÇANHA, D.; VASCONCELOS, Â. M.; LIMA, F. R. G.; ELOY, Â. M. X.; AYURA, A. O. L.; GUILHERMINO, M. M.; LANDIM, A. V. Características termorreguladoras e desempenho de cabras leiteiras no terço inicial da lactação em clima tropical. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, v. 111, p. 151–156, 2012.

FMI – FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL. **Seis gráficos sobre impulsionar o crescimento no Brasil**. Brasília: FMI, 2019. Disponível em <<https://www.imf.org/pt/Blogs/Articles/2019/08/06/blog-six-charts-on-boosting-growth-in-brazil>>. Acesso em: 15 de set. 2022.

FONSECA, W. J. L; MONTEIRO LUZ, C. S; FONSECA, W. L; SOUSA, G. G. T; SOUSA, D. J. A; SANTOS, T. R; BORGES, L. S; GUERRA, L. O; SOUSA, T. O; SOUSA JÚNIOR, S. C. Physiological parameters in the Equine Competitions Rodeo Cow in the Sathern State of Piaui, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v.6, n.5, 2014.

GAUGHAN, J. B.; HOLT, S.; HAHN, G. L.; MADER, T. L.; EIGENBERG R. Respiration rate: is it a good measure of heat stress in cattle?. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 13, p. 329-332, 2000.

GAUGHAN, J.; MADER, T.; GEBREMEDHIN, K. **Rethinking heat index tools for livestock**. In Environmental physiology of livestock. Chichester: Wiley-Blackwell. 2012. p. 243.

GEBREMEDHIN, K. G. Heat Exchange between livestock and the environment. In: yosef, M.K., editor, Stress Physiology in livestock, v. 1. p.-1533, 1985.

HAHN, G. L.; GAUGHAN, J. B.; MADER, T. L.; EIGENBERG R. A. **Thermal indices and their applications for livestock environments**. J. A. De Shazer (Ed.), Livestock Energetics and Thermal Environment Management, ASABE, St. Joseph (2009), pp. 113-130.

HAHN, G. L.; MADER, T. L.; Heat waves in relation to termo-regulation, feeding behaviour and mortality of feedlotcattle. p.563-571. 5th int. Livestock. Enviroment. Symposiun., Bloomington, MN. R. W. Bottcher and S. J. Hoff, E. D. **American Society of Agriculture Engeneering**, St. Joseph, MI. 1997.

HALPIN, P. M.; MENGE, B. A.; HOFMANN, G. E. Experimental demonstration of plasticity in the heat shock response of the intertidal mussel *Mytilus californianus*. **Marine Ecology Progress Series**, v. 276, p. 137-145, 2004.

HELMUTH, B.; HOFMANN, G.E. Microhabitats, thermal heterogeneity and physiological gradients of stress in the rocky intertidal zone. **Biology of Bull.**, v. 201, p. 374–384, 2001.

HENG, M.; MCCARL, B.; FEI, C. Climate Change and Livestock Production: A Literature Review. **Atmosphere**, v. 13, n. 1, 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa da pecuária municipal** – PPM. 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/busca.html?searchword=pecu%C3%A1ria&searchphrase=all&start= 20>>. Acesso em 17 de set. 2022.

IPCC (2018). **Special report**: global warming of 1.5 °C. Incheon, Republic of Korea. <https://www.ipcc.ch/sr15/>,

KADZERE, C. T.; MURPHY, M. R.; SILANIKOVE, N.; MALTZ, E. Heat stress in lactating dairy cows: a review. **Livestock production science**, v. 77, n. 1, p. 59-91, 2002.

KUMAR, D.; YADAV, B.; CHOUDHURY, S.; KUMARI, P.; MADAN, A. K.; SINGH, S. P.; ROUT, P. K.; RAMCHANDRAN, N.; YADAV, S. Evaluation of adaptability to different seasons in goat breeds of semi-arid region in India through differential expression pattern of heat shock protein genes. **Biological Rhythm Research**, v. 49, n. 3, p. 466-478, 2018.

LIMA, C. B.; COSTA, T. G. P.; NASCIMENTO, T. L.; LIMA JÚNIOR, D. M.; MARIZ, T. M. A. Comportamento ingestivo e respostas fisiológicas de ovinos em pastejo no semiárido. **Journal of Animal Behaviour Biometeorology**, v.2, n.1, p.26-34, 2014.

MADER, T. L.; JOHNSON, L. J.; GAUGHAN, J. B. Components of the Comprehensive Climate Index. **Journal of Animal Science**, v. 29, p. 2009-2586. 2010.

MADHUSOODAN, A. P.; SEJIAN, V.; AFSAL, A.; BAGATH, M.; KRISHNAN, G.; SAVITHA, S. T.; RASHAMOL, V. P.; DEVARAJ, C.; BHATTA, R. Differential expression patterns of candidate genes pertaining to productive and immune functions in hepatic tissue of heat-stressed Salem Black goats. **Biological Rhythm Research**, v. 52, n. 6, p. 809-820, 2021.

MALAFÁIA, G. C.; BARCELLOS, J. O. J.; AZEVEDO, D. B. Construindo vantagens competitivas para a pecuária de corte do Rio Grande do Sul: o caso de indicação de procedimento de “Carne do Pampa Gaúcho”. In: **SEMINÁRIOS EM ADMINISTRAÇÃO (SEMEAD)**, São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006.

MARINO, R.; ATZORI, A. S.; D'ANDREA, M.; IOVANE, G.; TRABALZA-MARINUCCI, M.; RINALDI, L. Climate change: Production performance, health issues, greenhouse gas emissions and mitigation strategies in sheep and goat farming. **Small Ruminant Research**, v. 135, p. 50-59, 2016.

MARQUES, J. I.; LEITE, P. L.; LOPES NETO, J. P.; FURTADO, D. A.; BORGES, V. P.;

MAURYA, V. P.; KUMAR, P.; SARKAR, M. Expression analysis of NOS family and HSP genes during thermal stress in goat (*Capra hircus*). **International journal of biometeorology**, v. 60, n. 3, p. 381-389, 2016.

MCKINLEY, M.; TREVAKS, D.; WEISSENBORN, F.; MCALLEN, R. Interaction between

MEDEIROS, C. M.; BAÊTA, F.C.; OLIVEIRA, R. F. M.; TINÔCO, I. F. F.; ALBINO, L. F. T.; CECON, P. R. Índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 660-665, 2005.

MENGISTU, U. L.; PUCHALAA, R.; SAHLUA, T.; GIPSONA, T. A.; DAWSONA, L. J.; GOETSCHA, A. L. Conditions to evaluate differences among individual sheep and goats in resilience to high heat load index. **Journal Small Ruminant Research**, v.147, p. 89-95,2017.

NEVES, M. L. M.W. **Índices de conforto térmico para ovinos santa inês de diferentes cores de pelame em condições de pastejo**. 2008. 77f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Zootecnia. Recife-PE, 2008.

OLIVEIRA, F. A.; TURCO, S. H. N. Parâmetros fisiológicos de ovinos Santa Inês submetidos a sombreamento com tela de polipropileno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1014–1019. 2013.

OOSTERBAAN, R. J. 2017. SegReg 1.7.0.0. Segmented Linear Regression with Breakpoint and Confidence Intervals (2017). [software].

PHULIA, S. K.; UPADHYAY, R. C.; JINDAL, S. K., MISRA, R.P. Alteration in surface body temperature and physiological responses in Sirohi goats during day time in summer season. **Indian Journal of Animal Sciences**, v. 80, n. 4, p. 340-342, 2010.

PRAGNA, P.; SEJIAN, V.; BAGATH, M.; KRISHNAN, G.; ARCHANA, P. R.; SOREN, N. M.; BEENA, V.; BHATTA, R. Comparative assessment of growth performance of three different indigenous goat breeds exposed to summer heat stress. **Journal of animal physiology and animal nutrition**, v. 102, n. 4, p. 825-836, 2018.

ROUT, P. K.; KAUSHIK, R.; RAMACHANDRAN, N.; JINDAL S. K. Identification of heat stress-susceptible and -tolerant phenotypes in goats in semiarid tropics. **Animal Production Science**, v. 58, n. 7, p. 1349-1357, 2017.

SANTOS, J. R. S.; SOUZA, B. B.; SOUZA, W. H.; CEZAR, M. F.; GUSTAVO DE PAULA TAVARES, G. P. Respostas fisiológicas e gradientes térmicos de ovinos das raças Santa Inês, Morada Nova e de seus cruzamentos com a raça Dorper às condições do semi-árido nordestino. **Revista Ciência Agrotécnica**, v. 30. n.5. p.995-1001, 2006.

SANTOS, M. M. dos.; SOUZA-JUNIOR, J. B. F.; DANTAS, M. R. T.; COSTA, L. L. de M. An Updated Review on Cattle Thermoregulation: Physiological Responses, Biophysical Mechanisms, and Heat Stress Alleviation Pathways. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 24, p. 30471-30485, 2021.

SCHUELLER, L. K.; BURFEIND, O.; HEUWIESER, W. Impact of heat stress on conception rate of dairy cows in the moderate climate considering different temperature-humidity index thresholds, periods relative to breeding, and heat load indices. **Theriogenology**, v. 81, n. 8, p. 1050-1057, 2014.

SHILJA, S.; SEJIAN, V.; BAGATH, M.; MECH, A.; DAVID, I. C. G.; KURIEN, E. K.; VARMA, G.; BHATTA, R. Summer season related heat and nutritional stresses on the adaptive capability of goats based on blood biochemical response and hepatic HSP70 gene expression. **Biological Rhythm Research**, v. 48, n. 1, p. 65-83, 2017.

SILANIKOVE, N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. **Livestock Production Science**, v. 67, p. 1–18, 2000.

SILVA, R. G. Zoneamento bioclimático para animais de interesse zootécnico. **In: Reunião anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.1, n.42, p- 388-394, 2005.

SILVA, R. G.; MAIA, A. S. C. **Principles of Animal Biometeorology**. 1st ed. New York: Springer, Dordrecht. 2013. p. 243.

SILVA, R.G. **Introdução à Bioclimatologia Animal**, (Editora Nobel, São Paulo), 2000. 286p

SILVA, T. G. F.; SANTOS, G. C. L.; DUARTE, A. M. C.; TURCO, S. H. N.; DA CRUZ NETO, J. F.; JARDIM, A. M. D. R. F.; DOS SANTOS, T. S. Black globe temperature from meteorological data and a bioclimatic analysis of the Brazilian Northeast for Saanen goats. **Journal of thermal biology**, v. 85, p. 102408, 2019.

SILVA, W. E. DA.; LEITE, J. H. G. M.; SOUSA, J. E. R. DE.; COSTA, W. P.; SILVA, W. S. T. DA.; GUILHERMINO, M. M.; FAÇANHA, D. A. E. Daily rhythmicity of the thermoregulatory responses of locally adapted Brazilian sheep in a semiarid environment. **International Journal of Biometeorology**. v. 61, n. 7, p. 1221-1231, 2017.

SORTE, C. J. B.; HOFMANN, G. E. Thermotolerance and heat-shock protein expression in Northeastern Pacific *Nucella* species with different biogeographical ranges. **Marine Biology**, v. 146, n. 5, p. 985-993, 2005.

SOUSA FILHO, H. M.; BONFIM, R. M. Oportunidades e desafios para a inserção de pequenos produtores em mercados modernos. In: CAMPOS, S. K.; NAVARRO, Z. (Org.). **A pequena produção rural e as tendências do desenvolvimento agrário brasileiro: ganhar tempo é possível?**. Brasília: CGEE, p. 71-100, 2013.

SOUSA, W. S. Estimation of heat exchanges in Boer crossbred goats maintained in a climate chambre. **Journal of Thermal Biology**. v. 96, p.102832, 2021.

SOUZA, B. B.; BATISTA, N. L. Os efeitos do estresse térmico sobre a fisiologia animal. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.8, n.3, p. 06-10, 2012.

SOUZA, B. B.; LOPES, J. J.; ROBERTO, J. V. B.; SILVA, A. M. A.; SILVA, E. M. N.; SILVA, G. A. Efeito do ambiente sobre as respostas fisiológicas de Caprinos Saanen e mestiços ½Saanen + ½Boer no semiárido Paraibano. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 6, p. 47–51, 2010.

SOUZA, P. T.; SALLES, M. G. F.; ARAÚJO, A. A. Impact of heat stress on the physiology, reproduction and production of goats, **Rural Science**, v.42, p. 1888-1895, 2012.

SRIVASTAVA, A.; YADAV, P.; MAHAJAN, A.; ANAND, M.; YADAV, S.; MADAN, A. K.; YADAV, B. Appropriate THI model and its threshold for goats in semi-arid regions of India. **Journal of Thermal Biology**, v. 96, p.102845, 2021.

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

SWENSON, M. J.; REECE, W. O. **Dukes: Fisiologia dos animais domésticos**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006. 946p.

thermoregulation and osmoregulation in domestic animals. **Brazilian Journal of Animal Science**. v. 46, p.783-790, 2017.

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

TODINI, L. Thyroid hormones in small ruminants: effects of endogenous, environmental and nutritional factors. **Animal**, v. 1, n. 7, p. 997-1008, 2007.

TOMANEK, L., SANFORD, E. Heat-shock protein 70 (Hsp70) as a biochemical stress indicator: an experimental field test in two congeneric intertidal gastropods (Genus: Tegula). **The Biological Bulletin**, v. 205, n. 3, p. 276-284, 2003.

WEST, J. W. Effects of heat stress on production in dairy cattle, **Journal of Dairy Science**, v.86, p.2131–2144. 2003.

YADAV, V. P.; DANGI, S. S.; CHOUHAN, V. S.; GUPTA, M.; DANGI, S. K.; SINGH, G.;

YOUSEF, M. K., JOHNSON, H. D. Physiological thermoneutrality zones of cattle. In: International Biometeorology Congress, 3, 1963, France. **Proceedings...** p. 477- 48.