



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**FATORES FISIOLÓGICOS E GENÉTICOS NA TOLERÂNCIA AO CALOR  
EM ANIMAIS DE PRODUÇÃO**

**RENATA AUGUSTO VIEIRA**

**TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS ANIMAIS**

**BRASÍLIA/DF  
MAIO/2023**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**FATORES FISIOLÓGICOS E GENÉTICOS NA TOLERÂNCIA AO CALOR  
EM ANIMAIS DE PRODUÇÃO**

**RENATA AUGUSTO VIEIRA**

**ORIENTADOR: CONCEPTA MARGARET MCMANUS PIMENTEL**

**TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS ANIMAIS**

**PUBLICAÇÃO:**

**BRASÍLIA/DF  
MAIO/2023**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**FATORES FISIOLÓGICOS E GENÉTICOS NA TOLERÂNCIA AO CALOR  
EM ANIMAIS DE PRODUÇÃO**

**RENATA AUGUSTO VIEIRA**

**TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIAS ANIMAIS, COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO  
DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS  
ANIMAIS.**

**APROVADA POR:**

---

**Concepta Margaret McManus Pimentel, Doutora (Universidade de Brasília)  
(ORIENTADOR)**

---

**Marcio Botelho de Castro, Doutor (Universidade de Brasília)**

---

**Helder Louvandini, Doutor (Universidade de São Paulo)  
(EXAMINADOR EXTERNO)**

---

**Vanessa Peripolli, Doutora (Instituto Federal Catarinense)  
(EXAMINADORA EXTERNA)**

**BRASÍLIA/DF,  
18 de MAIO de 2023**

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA E CATALOGAÇÃO

VIEIRA, R. A. **Fatores Fisiológicos e Genéticos na Tolerância ao Calor em Animais de Produção**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2023, 107 p. Tese de Doutorado.

Documento formal, autorizando reprodução desta tese de doutorado para empréstimo ou comercialização, exclusivamente para fins acadêmicos, foi passado pelo autor à Universidade de Brasília e acha-se arquivado na Secretaria do Programa. O autor e o seu orientador reservam para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor ou do seu orientador. Citações são estimuladas, desde que citada a fonte.

## FICHA CATALOGRÁFICA

## DEDICATÓRIA

*À minha família. Meus pais Bernar e Marilene, e minha irmã Julia.  
Ao meu esposo, Matheus. Aos meus pequenos, Yolando e Joaquina.  
Agradeço por todo apoio, incentivo, amor e carinho.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, Bernar e Marilene, pelo incentivo incondicional a cada escolha minha, por sempre acreditarem em mim. Agradeço por me ensinarem que o estudo sempre compensa.

Agradeço à minha irmã, Julia, por todo companheirismo e cumplicidade, pelas conversas e pela paciência.

Agradeço ao meu esposo, Matheus, por ser exemplo de alegria e perseverança, sempre me ouvindo e me ajudando a ser uma pessoa melhor.

Agradeço aos meus amores, Yolando e Joaquina, por serem a razão da minha evolução como pessoa.

Agradeço à professora Connie por ser meu grande exemplo de pesquisadora e a quem admiro muito como pessoa. Agradeço pela confiança, pelo acolhimento e pelos ensinamentos nos últimos anos.

## ÍNDICE

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>X</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>XI</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XIII</b>
<b>CAPÍTULO 1. FATORES FISIOLÓGICOS E GENÉTICOS NA TOLERÂNCIA AO CALOR EM ANIMAIS DE PRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos .....	3
1.2 Objetivos Específicos.....	3
<b>2.REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO 2. PATH AND LOGISTIC ANALYSIS FOR HEAT TOLERANCE IN ADAPTED BREEDS OF CATTLE IN BRAZIL.....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO 3. USE OF THERMOGRAPHY AND PHYSIOLOGICAL RATE TO ASSESS HEAT TOLERANCE IN CATTLE BREEDS. ....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO 4. BIBLIOGRAPHIC MAPPING OF ANIMAL GENETIC RESOURCES AND CLIMATE CHANGE IN FARM ANIMALS. ....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO 5. PATH ANALYSIS AND LOGISTIC REGRESSION FOR SHEEP .....</b>	<b>13</b>
Capítulo 6. Considerações Finais .....	35
Referências .....	36

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo 2

Figura 1. Esquema inicial da análise de caminhos

Figura 2. Probabilidade de resposta consideradas fora do normal das raças para frequência respiratória (A) e temperatura retal (B).

### Capítulo 3

Figura 1. Efeito da temperatura do ar (a) e do índice THI (b) sobre a temperatura ocular e a frequência respiratória.

Figura 2. Análise de componentes principais.

Figura 3. Probabilidade de respostas consideradas foram do normal das raças para frequência respiratória (A e B) e temperatura ocular (C e D).

Figura 4. Análise de clusters das raças.

### Capítulo 4

Figura 1. Quantidade de publicações por ano sobre o tema “recursos genéticos animais” e “mudanças climáticas” (A) e análise de regressão (B).

Figura 2. Mapa dos principais países de acordo com a quantidade de publicações sobre o tema (A) e principais instituições de financiamento (B).

Figura 3. Principais tipos de documentos publicados (A) e principais áreas de publicação (B).

Figura 4. Mapas bibliométricos de coautoria entre países (A) e linha do tempo de coautoria entre países (B); Países que publicam juntos com os Estados Unidos (C); Países que publicam juntos com a China (D); Países que publicam juntos com o Reino Unido (E); Linha do tempo de países que publicam juntos com os Estados Unidos (F); Linha do tempo de países que publicam juntos com a China (G); Linha do tempo de países que publicam juntos com o Reino Unido (H).

Figura 5. Mapa bibliométrico de coautores (A) e linha do tempo de coautores (B).

Figura 6. Principais palavras-chave (A) e linha do tempo das principais palavras-chave (B).



Figura 7. Mapa bibliométrico de citações por país (A) e linha do tempo de citações por país (B).

Figura 8. Mapa bibliométrico de acoplamento bibliográfico por autores (A) e linha do tempo de acoplamento bibliográfico por autores (B). Mapa bibliométrico de acoplamento bibliográfico por país (C) e linha do tempo de acoplamento bibliográfico por país (D). Mapa bibliométrico de acoplamento bibliográfico de fontes (E) e linha do tempo de acoplamento bibliográfico de fontes (F).

Figura 9. Mapa bibliométrico de cocitação (A) e linha do tempo de cocitação (B).

Figure 10. Nuvem de palavras sobre as principais espécies estudadas.

## **Capítulo 5**

Figura 1. Esquema inicial da análise de caminhos

Figura 2. Probabilidade de resposta consideradas fora do normal das raças para frequência respiratória de acordo com THI para raças lanadas (A) e não lanadas (B).

Figura 3. Probabilidade de resposta consideradas fora do normal das raças para temperatura retal de acordo com THI para raças lanadas (A) e não lanadas (B).

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo 2

Tabela 1. Produção de leite e peso do animal adulto.

Tabela 2. Resultado da análise de caminhos de parâmetros fisiológicos e morfológicos que apresentaram resultado significativo.

### Capítulo 3

Tabela 1. Valores de temperatura ocular, frequência respiratória, peso corporal e cor da pele para cada raça.

Tabela 2. Correlações entre variáveis ambientais e fisiológicas.

Tabela 3. Pontos de inflexão da análise *broken line* para frequência respiratória e temperatura ocular.

Tabela 4. Índices de comparação de frequência respiratória e temperatura ocular entre as raças.

### Capítulo 4

Tabela 1. Parâmetros utilizados na análise bibliométrica para publicações sobre recursos genéticos animais e mudança climática.

### Capítulo 5

Tabela 1. Resultado da análise de caminhos de parâmetros fisiológicos e morfológicos que apresentaram resultado significativo.

## RESUMO

A produção animal passará por novos desafios impostos pela escassez de recursos em função das mudanças climáticas, gerando consequências negativas na saúde e no bem-estar dos animais. Dentre as mudanças esperadas estão a elevação de temperaturas, alteração no nível do mar e no regime de precipitação, podendo causar secas prolongadas, aumentando a incidência de eventos extremos, como inundações e geadas, interrupção do abastecimento de alimentos, surtos de doenças, entre outros. Assim, a gestão dos sistemas agrícolas e dos recursos naturais precisa ser melhor planejada de forma a garantir que as comunidades e práticas agrícolas sejam suficientemente resilientes e sustentáveis para lidar com os impactos das mudanças climáticas. Nos últimos anos tem-se observado uma maior intensidade de seleção para aumentar a produtividade com o uso de técnicas de melhoramento animal e tecnologias reprodutivas, tendo como consequência a redução na resistência a doenças, bem como na tolerância a novas condições ambientais e consequente diminuição da adaptabilidade. Nesse sentido, o presente trabalho buscou analisar fatores que afetam a adaptação de recurso genéticos animais às condições ambientais por meio de metodologias bibliométricas, análises de dados e análises estatísticas com objetivo de evidenciar as relações entre as condições climáticas, fisiologia e termorregulação em ruminantes e os limites fisiológicos de conforto térmico. O mapeamento bibliográfico mostrou que Estados Unidos, Reino Unido e China se destacam na produção científica sobre ‘Mudança Climática’ e ‘Recursos Genéticos Animais’, porém países como Brasil, Austrália, França, Canadá e Alemanha têm sido citados cada vez mais, demonstrando uma importância desses países no cenário da publicação mundial. A China tem se destacado nos últimos anos tanto no número de produção científica, como no reconhecimento dos seus pesquisadores. As análises de caminhos e a regressão logística se mostraram técnicas de análise estatística eficientes para avaliar o comportamento de várias raças submetidas a situações de estresse térmico. Raças bovinas naturalizadas, como Junqueira e Indubrasil, apresentaram boa adaptabilidade às condições climáticas tropicais. A raça de ovinos Morada Nova teve os melhores resultados de frequência respiratória e temperatura retal, demonstrando sua rusticidade. A análise *broken lines*, por sua vez, traz pontos de inflexão que mostram os momentos em que os animais apresentam uma mudança na resposta fisiológica na tentativa de compensar o aumento da temperatura ambiental. Os animais da raça Nelore

mostraram maior tolerância ao estresse térmico quando comparados aos demais. O objetivo deste trabalho foi alcançando com sucesso uma vez que foram gerados resultados concretos e confiáveis no estudo da fisiologia dos animais de produção frente ao estresse térmico utilizando ferramentas pouco comuns.

Palavras-chave: Bovinos; Estresse térmico; Mudanças climáticas; Ovinos.

## ABSTRACT

Livestock production will face new challenges imposed by the scarcity of resources due to climate change, generating negative consequences on the health and welfare of animals. Among the expected changes are rising temperatures, changes in sea level and precipitation patterns, which may cause prolonged droughts, increasing the incidence of extreme events such as floods and frosts, interruption of food supply, disease outbreaks, among others. Thus, the management of agricultural systems and natural resources needs to be better planned to ensure that farming communities and practices are sufficiently resilient and sustainable to cope with the impacts of climate change. In recent years we have observed a greater intensity of selection to increase productivity with the use of animal breeding techniques and reproductive technologies, with the consequence of a reduction in resistance to diseases, as well as tolerance to new environmental conditions and a consequent decrease in adaptability. Therefore, the present work sought to analyze factors that affect the adaptation of animal genetic resources to environmental conditions by means of bibliometric methodologies, data analysis and statistical analysis with the objective of highlighting the relationships between climatic conditions, physiology and thermoregulation in ruminants and the physiological limits of thermal comfort.

The bibliographic mapping showed that the United States, United Kingdom and China stand out in the scientific production on 'Climate Change' and 'Animal Genetic Resources', but countries like Brazil, Australia, France, Canada and Germany have been cited increasingly, demonstrating an importance of these countries in the world publication scenario. China has stood out in recent years both in the number of scientific production and in the recognition of its researchers. Path analysis and logistic regression have proven to be efficient statistical analysis techniques to evaluate the behavior of several breeds subjected to heat stress situations. Naturalized cattle breeds, such as Junqueira and Indubrasil, showed good adaptability to tropical climatic conditions. The Morada Nova sheep breed had the best results for respiratory rate and rectal temperature, demonstrating its rusticity. The broken line analysis, in turn, brings inflection points that show the moments in which the animals present a change in physiological response in an attempt to compensate for the increase in environmental temperature. Nelore animals showed greater tolerance to heat stress when compared to others. The objective of this

work was successfully achieved once concrete and reliable results were generated in the study of the physiology of production animals facing heat stress using uncommon tools.

Keywords: Cattle; Heat stress; Climate change; Sheep.

# CAPÍTULO 1. FATORES FISIOLÓGICOS E GENÉTICOS NA TOLERÂNCIA AO CALOR EM ANIMAIS DE PRODUÇÃO

## 1.INTRODUÇÃO

A produção agropecuária tem papel essencial na manutenção da vida humana. Nos últimos anos, a demanda mundial por alimentos tem aumentado com maior intensidade por causa do crescente aumento populacional, acompanhado por uma maior urbanização e pelo incremento da taxa de longevidade humana. A consequência dessas transformações acentuadas especialmente nos últimos 40 anos é o crescimento da demanda global por alimentos, com a necessidade de aumento de produção em 35% até 2030 (EMBRAPA, 2018).

O Brasil, como quarto maior produtor mundial de grãos e terceiro maior produtor mundial de carne -bovinos, suínos e aves- (EMBRAPA, 2022), tem grande responsabilidade no atendimento dessa necessidade e deve atuar como protagonista no atingimento das metas de produção alimentar. Considerando que essa expectativa de crescimento está acontecendo em um mundo com uma dinâmica cada vez mais acelerada no que diz respeito a novas exigências, como recursos naturais finitos, desafios climáticos, entre outros, a produção agropecuária deve estar cada vez mais adaptada a novas condições.

As mudanças climáticas, em especial o aquecimento global, têm sido temas norteadores da pesquisa científica atualmente (SEJIAN et al., 2018; MCMANUS et al., 2022). As inovações em ciência e tecnologia alimentar influenciaram significativamente o sistema alimentar moderno, especialmente na solução de deficiências nutricionais e desafios de segurança alimentar (MENSI; UDENIGWE, 2021). Por isso, é importante que os sistemas de produção sejam desenvolvidos para atender as novas demandas, como desenvolvimento sustentável, conservação da biodiversidade, uso de fontes de energia sustentáveis e/ou renováveis, adaptação a mudanças climáticas (HERRERO et al., 2021; MENSI; UDENIGWE, 2021).

A questão da adaptação animal é uma problemática associada ao estudo da transformação do clima, uma vez que mudanças climáticas e o aumento da temperatura global impactam todo o setor agrícola. De acordo com HAYHOE et al. (2018), as variações do clima acontecem naturalmente há milhares de anos, porém a partir da Revolução Industrial o aumento da temperatura atmosférica tem sido consideravelmente

acelerada. No âmbito da produção animal, o bovino é uma das categorias mais suscetíveis aos efeitos devastadores da mudança climática (ANGEL et al., 2018); e o estresse térmico é a consequência mais prejudicial e comprometedora da produção e reprodução animal (DE LA SALLES et al., 2018; COLLIER et al., 2019;) Os pequenos ruminantes, por sua vez, são uma fonte essencial de subsistência para a população rural e importantes para o desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis e ambientalmente corretos, principalmente em ambientes influenciados pelo calor (BERIHULAY et al., 2019).

O estresse térmico não compromete somente a produção e a reprodução dos animais, apesar de serem consequências extremamente relevantes. De acordo com Gonzalez-Rivas et al., (2020), as perdas econômicas no setor pecuário associadas ao estresse térmico incluem aumento dos custos veterinários, redução de receita nas vendas e aumento dos problemas relacionados ao bem-estar animal; além de afetar toda a cadeia de produção, como armazenamento, transporte e venda de produtos de origem animal (JOY et al., 2020; GODDE et al., 2021).

Ao longo dos anos, é possível observar o aumento da produção científica que aborda a temática da adaptação de recursos genéticos animais e o impacto das mudanças climáticas na pecuária (AYANLADE; OJEBISI, 2020), porém nos últimos anos podemos observar uma maior utilização de tecnologias, como termografia infravermelho e *machine learning* (JOY et al., 2022) e análises de dados (VIEIRA et al., 2022) para auxiliar na compreensão dos eventos fisiológicos dos animais. De acordo com (PASSAMONTI et al., 2021), a utilização da IoT (Internet of Things, Internet das Coisas em português) tem aumentado a capacidade dos pesquisadores de registrar variáveis ambientais e o status de bem-estar dos animais, além de fornecer dados para sistemas dedicados ao controle das condições ambientais e ao fornecimento de alertas antecipados de desconforto em animais individuais. A utilização de redes bibliométricas, por exemplo, é uma ferramenta de análise de dados que promove um entendimento mais claro da publicação científica a respeito de qualquer assunto e, nesse caso, pode ser utilizada na compreensão da pesquisa científica sobre mudanças climáticas e recursos genéticos animais. McManus et al. (2023) publicaram um estudo sobre redes bibliométricas para tolerância térmica em animais de produção e conseguiram identificar os principais grupos de pesquisa e as tendências de estudos sobre tolerância ao calor em animais de produção. Esses autores afirmam que essa área de pesquisa está crescendo três vezes mais rápido do que as taxas de publicação em geral.



Esse estudo buscou utilizar análise de dados e estatística para auxiliar na compreensão da fisiologia dos animais de produção quando submetidos a condições desafiadoras, especialmente em situações de altas temperaturas. Por meio dos resultados obtidos será possível auxiliar na gestão dos sistemas agrícolas e dos recursos naturais, de forma a garantir que as comunidades e práticas agrícolas sejam suficientemente resilientes e sustentáveis para lidar com os impactos das mudanças climáticas.

## 1.1 Objetivos

Especificar os fatores que afetam a adaptação de recurso genéticos animais às condições ambientais por meio de análises estatísticas, análises de dados e mapeamento bibliométrico

## 1.2 Objetivos Específicos

- Analisar as relações entre as condições climáticas, fisiologia e termorregulação em bovinos, bubalinos e ovinos e as respostas dos animais através de análises estatísticas
- Identificar limites fisiológicos de conforto térmico utilizando frequência respiratória e temperatura ocular através de termografia como parâmetros.
- Compreender as tendências da pesquisa científica que abordam “mudanças climáticas” e “recursos genéticos animais” como tema.

## 2.REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Mudanças Climáticas e Estresse Térmico Animal

Mudança climática é um conjunto de eventos, naturais ou não, de longa duração que altera os padrões do clima . As mudanças climáticas observadas em todo o mundo no século XXI e o aquecimento global são resultados significativos do que vem ocorrendo nos últimos 65 anos (ABBASS et al., 2022). Com o início da revolução industrial, as alterações do clima da Terra foi intensificado (HAYHOE et al., 2018). De acordo com Lacetera (2019), os efeitos das mudanças climáticas nos animais ocorrem principalmente devido ao aumento das temperaturas e à frequência e intensidade das ondas de calor.

A mudança climática acelerada e descontrolada é ruim e representa uma ameaça global significativa aos ecossistemas. Prevê-se que padrões climáticos anormais podem eliminar 8% das espécies animais no mundo (JOY et al., 2020). De acordo com o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) publicado em 2001, as estimativas indicavam que 25% dos mamíferos e 12% das aves do mundo corriam risco significativo de extinção global (IPCC, 2001). Contudo, no último relatório publicado por esse órgão em 2022, os pesquisadores afirmaram que a extensão e a magnitude dos impactos das mudanças climáticas são maiores do que as estimadas em avaliações anteriores (IPCC, 2022).

O aumento da temperatura atmosférica é um tipo de alteração climática que preocupa pesquisadores e criadores em especial. Há várias maneiras pelas quais as mudanças climáticas afetam os animais de produção, especialmente por meio do estresse térmico, que altera a qualidade e a quantidade do pasto e aumenta a ocorrência de pragas e doenças (GAUGHAN; CAWDELL-SMITH, 2015), além de impactar a produtividade, a reprodução e o bem-estar dos animais (SEJIAN et al., 2018; HOFFMAN et al., 2023).

A produção de leite e de carne é fortemente impactada quando os animais estão sob estresse termico. Bovinos de leite podem ser mais vulneráveis aos efeitos negativos do estresse térmico, pois esses impactos adversos podem ser mais profundos durante a gestação e a lactação (BAGATH et al., 2019a), ademais o estresse por calor reduz a ingestão de matéria seca, o que, conseqüentemente, tem uma influência negativa na absorção de nutrientes, afetando o sistema imunológico e a resposta inflamatória (YADAV et al., 2016). O estresse térmico afeta a bioenergética do animal, especialmente

aqueles mantidos em altos níveis de nutrição com o objetivo de maximizar as taxas de crescimento, o que leva a um aumento significativo de calor em seus corpos (IDRIS et al., 2021). Caprinos e ovinos também sofrem as consequências de um ambiente estressante termicamente, apesar de serem considerados animais mais resistentes e adaptados ao calor. Para Abioja et al. (2023), os caprinos possuem algumas características fenotípicas adaptativas que os retratam como resistentes, com adaptabilidade ecológica baseada em características anatômicas, morfológicas e fisiológicas que conferem resistência a altas temperaturas ambientais. Entretanto, a produção de caprinos não está isolada da influência das mudanças climáticas.

Para McManus et al. (2022a), uma das alternativas às mudanças climáticas seria o uso de raças adaptadas localmente em sistemas de raça pura ou cruzada e o estudo dessas raças para elucidar características físicas ou fisiológicas e vias metabólicas que contribuem para a resiliência, resistência ou tolerância em condições estressantes. Nesse mesmo raciocínio, Joy et al., (2020) afirmam que a identificação de raças tolerantes e melhor adaptadas a condições ambientais extremas (alta temperatura, escassez de alimento e de água) é uma estratégia viável para mitigar o impacto das mudanças climáticas na produção de pequenos ruminantes. Ainda para esses autores, a capacidade adaptativa relativa de diferentes raças em termos de produção e reprodução é uma área promissora de pesquisa. Ainda assim, de acordo com Escarcha et al. (2018), estudos mostram lacunas em nosso conhecimento em questões científicas essenciais sobre os impactos das mudanças climáticas e a adaptação em sistemas de pecuária.

## 2.2 Fatores Fisiológicos e Morfológicos no Estresse Térmico

A estratégia térmica dos animais homeotérmicos (dentre eles os mamíferos) é manter a temperatura corporal acima da temperatura ambiente, o que lhes permite dissipar o calor por meio de três mecanismos que exigem um gradiente térmico (condução, convecção e radiação). Quando o ambiente atinge ou excede a temperatura corporal do animal, essas rotas de troca de calor são descartadas, e a última/única rota restante de perda de calor é por meio de rotas evaporativas (suor e respiração ofegante), que exigem um gradiente de pressão de vapor (COLLIER et al., 2019).

Os animais são mais produtivos em uma faixa de temperatura conhecida como zona de termoneutralidade (MANZOOR et al., 2022), e quando são expostos a condições

fora desse intervalo ideal, devem buscar meios de ganhar ou perder calor. Os animais homeotérmicos respondem às altas temperaturas do ambiente aumentando a perda de calor e reduzindo a produção de calor na tentativa de evitar o aumento da temperatura corporal (hipertermia) (LACETERA, 2019). Para entender como o estresse afeta um organismo, é necessário compreender como a resposta pode ser afetada por vários fatores complexos e sobrepostos (MCMANUS et al., 2022b).

O estresse é definido como um evento ou condição externa que produz uma tensão em um sistema biológico (WEARY; ROBBINS, 2019). Quando o estresse é ambiental, a tensão é medida como uma mudança na temperatura corporal, na taxa metabólica, na produtividade, na conservação de calor e/ou nos mecanismos de dissipação (MCMANUS et al., 2020b). O estresse térmico é desencadeado quando as condições ambientais excedem a temperatura crítica superior ou inferior dos animais, exigindo um aumento no metabolismo basal para lidar com o estresse (SILVA; MAIA, 2013).

Pode-se dizer que o estresse, de maneira geral, ocorre em três etapas, quais sejam (i) o agente estressor é percebido e avaliado (GODOY et al., 2018) por receptores, incluindo termorreceptores que percebem o estresse térmico, (ii) ocorre o processamento das informações e (iii) é desencadeada uma resposta ao estresse (MCMANUS et al., 2022b). A resposta ao estresse pode promover alterações metabólicas na tentativa de manter a homeostase. Essas alterações incluem a mobilização de energia e água e a redução da atividade dos sistemas digestivo e reprodutivo, bem como a ativação do sistema imunológico (SEJIAN et al., 2018). Dessa forma, Collier et al. (2019) concluem que a termorregulação é um processo neural que conecta informações do ambiente externo e interno a uma resposta apropriada (por exemplo, vasoconstrição, elevação e abaixamento de pelos ou penas, respiração ofegante), o que permite que o animal mantenha um ambiente interno estável em relação a um ambiente externo variável.

### 2.2.1 Fatores Fisiológicos

O estresse por calor causa várias alterações fisiológicas. Essas alterações podem incluir o aumento das temperaturas da superfície e do núcleo do corpo, alterações nas funções endócrinas e reprodutivas, reações enzimáticas e níveis de cortisol e corticosterona circulatórios (GAUGHAN; CAWDELL-SMITH, 2015); além de alteração no metabolismo proteico e energético (SAMMAD et al., 2020), desequilíbrio mineral e

alterações no pH sanguíneo (ZHANG et al., 2020), mudança na digestibilidade e no metabolismo dos nutrientes (EMAMI et al., 2021), alterações na microbiota (TYPE et al., 2021). Todas essas alterações podem levar à redução do consumo de alimento, afetando negativamente o crescimento, a produção de leite e carne e os índices reprodutivos.

De acordo com Collier et al., (2019), existem duas categorias de estresse térmico por calor, que são a aguda ou a crônica. Quando ocorre um aumento curto e rápido da temperatura ambiente, temos o estresse térmico agudo, por outro lado, o tipo crônico ocorre quando a temperatura ambiente se eleva por um longo período (dias a semanas), permitindo a aclimação ao ambiente. Essa variação da temperatura leva às respostas fisiológicas, como alteração da respiração, da frequência cardíaca, do suor, da temperatura corporal, entre outros. Algumas dessas variáveis fisiológicas (temperatura central do corpo e da pele, frequência respiratória, sudorese, pulso ou frequência cardíaca) têm sido consideradas medidas de referência para avaliar a tolerância ao calor, com várias técnicas desenvolvidas para maximizar as informações que podem ser obtidas a partir dessas variáveis (DALCIN et al., 2016).

A frequência respiratória foi descrita como a variável fisiológica mais sensível ao estresse térmico e como uma das mais úteis (MCMANUS et al., 2020b) para avaliar a condição do animal. As alterações na frequência respiratória sempre precedem as alterações em outras variáveis fisiológicas (temperatura retal, sudorese, pulso ou frequência cardíaca) durante o estresse por calor. Consequentemente, foi sugerido que as alterações na frequência respiratória poderiam ser usadas como uma ferramenta de avaliação do bem-estar animal na fazenda para identificar e classificar os animais em suscetíveis ou tolerantes (HABIBU et al., 2019). A medição da temperatura retal é o método predominante de avaliação da temperatura do núcleo corporal. Trata-se de uma medida secundária, pois a temperatura no interior do corpo começa a aumentar quando o excesso de calor metabólico não consegue ser dissipado pelos mecanismos de termorregulação. Por isso, a alteração da respiração é a primeira resposta para lidar com ambientes quentes durante a fase inicial do estresse por calor (YAN et al., 2021).

O estresse por calor também pode afetar o equilíbrio mineral do animal (LI et al., 2018). Os animais sob estresse por calor apresentam maior produção de suor, mas também apresentam maiores perdas de potássio e cloreto do que os animais sem estresse por calor (LIVINGSTON et al., 2022). Outras alterações incluem o aumento da renovação de água, principalmente devido à maior perda de água por evaporação, comprometimento

da função ruminal, redução da atividade bacteriana e diluição do fluido ruminal (BERNABUCCI et al., 2010). Ainda, estudos indicam que o estresse por calor altera os efeitos imunomoduladores (FABRIS et al., 2017) e causa impacto negativo no sistema imunológico (BAGATH et al., 2019).

### 2.2.2 Fatores Morfológicos

As características físicas (morfológicas) dos animais influenciam na forma como eles respondem ao estresse térmico. O tamanho e a forma do corpo, o tipo e a cor do pelo ou da lã, a estrutura e a cor da pele, são exemplos de como características físicas podem estar envolvidas nas respostas ao estresse térmico.

O tamanho do corpo afeta a energia térmica dos ruminantes por meio das exigências de energia para manutenção, crescimento e produção (Mitchell et al., 2018). A redução no tamanho de uma raça pode ser uma adaptação evolucionária às mudanças do ambiente (COLLIER; GEBREMEDHIN, 2015) ou o resultado de uma redução na disponibilidade de energia e na qualidade dos alimentos em ambientes mais quentes (ELAYADETH-MEETHAL et al., 2018). As características do pelo e/ou da lã também estão associados à capacidade de perda de calor. Pelos escuros e longos (AL-RAMAMNEH, 2023) e pelagens densas (MORRELL, 2020) podem causar superaquecimento nos animais. Por outro lado, pelagens mais finas com pelos curtos e grossos podem permitir uma melhor dissipação do calor do corpo (MCMANUS et al., 2022b). Além disso, de acordo com Herrig et al. (2006), a tosquia reduz o estresse térmico em ovelhas, indicando que a cobertura de lã restringe a produtividade das ovelhas em um ambiente quente.

### 2.3 Tendências da Pesquisa Científica

A humanidade enfrenta o grande desafio de reconfigurar os sistemas alimentares para oferecer alimentos saudáveis e acessíveis a todas as pessoas e, ao mesmo tempo, viabilizar a sobrevivência do planeta (HERRERO et al., 2021). Contudo, apenas produzir um volume maior de alimentos e alimentos mais saudáveis de forma mais sustentável não garantirá o bem-estar humano. Outros desafios cruciais também precisam ser enfrentados, como a conservação da biodiversidade, a utilização de energia sustentável, a segurança

hídrica e a adaptação e mitigação das mudanças climáticas (ANGEL et al., 2018; MENSI; UDENIGWE, 2021). Esses desafios interligados estão incorporados na Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, adotada por todos os estados-membros da ONU em 2015 e construída em torno dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2016).

Dada a importância da pecuária para a segurança alimentar global, são necessários esforços para identificar raças que sejam capazes de manter a produção em um cenário de mudanças climáticas, além de quantificar a resposta desses animais ao estresse térmico. Qualquer avanço nas tecnologias relacionadas à melhoria da eficiência da obtenção de dados é fundamental para aprimorar o conhecimento e a compreensão dos mecanismos que sustentam a tolerância ao calor (RASHAMOL et al., 2019). Sendo assim, podemos analisar como a pesquisa científica vem se comportando nos últimos anos, quais as tendências temáticas que os pesquisadores estão abordando e as perspectivas de publicações futuras.

No contexto das mudanças climáticas, o estudo de como o aquecimento global afeta a adaptação dos animais de produção (SEJIAN et al., 2018; MCMANUS et al., 2022b) se tornou mundialmente importante. Devido à natureza generalizada do estresse térmico no bem-estar e na produtividade dos animais, ele deve ser visto no contexto de um sistema (MCMANUS et al., 2023). A análise bibliométrica e a consequente criação de redes bibliométricas pode ajudar a entender diferentes áreas de pesquisa, a identificar os principais grupos de pesquisadores, características de publicações e também as mudanças nos tópicos de pesquisa ao longo do tempo (YU et al., 2020). Essas análises ajudam a estabelecer interconexões entre artigos e temas, além de ajudarem a entender como um campo de estudo está se desenvolvendo e mudando no mundo ao longo do tempo (SHAH et al., 2020).

## **CAPÍTULO 2. PATH AND LOGISTIC ANALYSIS FOR HEAT TOLERANCE IN ADAPTED BREEDS OF CATTLE IN BRAZIL**

O presente capítulo foi publicado na Livestock Science e pode ser encontrado de acordo com a seguinte referência: Renata Vieira, Helder Louvandini, Julio Barcellos, Carlos Frederico Martins, Concepta McManus. **Path and logistic analysis for heat tolerance in adapted breeds of cattle in Brazil**. Livestock Science, Volume 258, 2022, 104888, ISSN 1871-1413. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.104888>



### **CAPÍTULO 3. USE OF THERMOGRAPHY AND PHYSIOLOGICAL RATE TO ASSESS HEAT TOLERANCE IN CATTLE BREEDS.**

O presente capítulo foi publicado na Tropical Animal Health and Production Science e pode ser encontrado de acordo com a seguinte referência: Vieira, R.A., Dias, E.A., Stumpf, M.T. *et al.* Use of thermography and physiological rate to assess heat tolerance in cattle breeds. *Trop Anim Health Prod* **55**, 223 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03613-4>

#### **CAPÍTULO 4. BIBLIOGRAPHIC MAPPING OF ANIMAL GENETIC RESOURCES AND CLIMATE CHANGE IN FARM ANIMALS.**

O presente artigo foi submetido na Tropical Animal Health and Production e está em fase de revisão.

## **CAPÍTULO 5. PATH ANALYSIS AND LOGISTIC REGRESSION FOR SHEEP**

O presente Capítulo será submetido na Tropical Animal Health and Production e está formatado de acordo com as diretrizes dessa revista.

## **Path Analysis and Logistic Regression for Heat Tolerance in Woolled and Hairy Sheep**

Renata Augusto Vieira<sup>a</sup>, Concepta McManus<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, Distrito Federal, Brazil.*

<sup>b</sup> *Universidade de Brasília, Instituto de Ciências Biológicas, Brasília, Distrito Federal, Brazil.*

Corresponding author: Renata A. Vieira ([renata.vieira@terra.com.br](mailto:renata.vieira@terra.com.br))

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1720-4467>

### **Abstract**

Climate change and increasing atmospheric temperature are important issues in the breeding of small ruminants. Although these animals are considered highly adaptable to extreme conditions, it is important to observe how these animals respond physiologically when challenged in warm climatic regions. Understanding the physiological pathways that lead these animals to thermal equilibrium is very important. In this study we analysed environmental and physiological variables and their correlations. In total 16 sheep genetics groups were studied, separated in two groups (wool and hair), in order to analyse how the variables correlate using path analysis; and also the responses of respiratory rate and rectal temperature to increased THI, using logistic regression analysis. Suffolk and Dorper were the breeds that presented alterations in respiration before the others. Bergamasca and Poll Dorset x Dorper were the first groups to present alterations in rectal temperature. Hampshire Down showed no alteration in respiratory rate. Morada Nova was the breed (among the breeds with hair) that had the most delayed alteration in respiratory rate and rectal temperature. The use of path analysis and logistic regression helps in the understanding of how animals respond physiologically to environmental changes.

Key words: Heat stress; rectal temperature; respiration rate; temperature-humidity index

### **Introduction**

Climate change is a transformation that occurs in weather patterns over the years. These variations occur naturally, but according to Hayhoe et al. (2018), the rise in atmospheric temperature has been most accelerated since the industrial revolution. Air temperature and relative humidity are critical environmental parameters because they directly influence productivity, reproduction and the overall development of farm animals (Vieira et al., 2022). The variation of environmental temperature and humidity can lead the animal to thermal stress through low or high temperatures, accompanied by increased relative air humidity. When these climatic variations occur naturally and are not extreme, animals tend to adapt (Collier et al., 2019; Godde et al., 2021), but when these changes are too fast or severe, animals need to use behavioral and physiological tools to try to adapt to the new conditions.

Production animals are especially subject to heat stress because they are restricted to a specific area, even those raised in extensive systems as they cannot seek more comfortable environments in nature, and show increased metabolic heat production. In addition to animals being more susceptible to heat stress, rising temperatures also influence food and water resources, affecting the entire production chain, including storage, transport and sale of animal products (Joy et al., 2020; Godde et al., 2021). Production animals have a spectrum of thermal comfort zones where they can live, produce and reproduce ideally and this will vary according to species, breed, age and physiological state (Pawar et al., 2022). Some breeds of sheep and goats are well adapted to warm environments, contributing to acceptable levels of productivity (Silanikove and Koluman, 2015). Considering the entire population of sheep and goats in the world, approximately half live in arid regions, which demonstrates the ability of these animals to withstand warmer climates (Joy et al., 2020). Brazil is a country with tropical climate in most of its territory and has about 27 registered sheep breeds (McManus et al., 2014), which demonstrates the importance of studies of this theme for scientific research (McManus et al., 2016).

According to Vieira et al. (2022), the physiology of thermoregulation in mammals is a complex process, and for Wijffels et al. (2021) the type of physiological response of an organism is influenced by specific characteristics of the animals, such as age, sex, diet, body condition, reproductive stage, etc., as well as by the environment and the

management of the animals. In this sense, we sought to analyze the interaction between environmental and physiological factors on heat stress in different breeds of sheep. Path analysis is a method that evaluates the cause and effect relationship between different variables (Tyasi et al., 2020) and was used in this study to verify which variables influence the stress in animals and how this process can occur. Logistic regression analysis is used to estimate the relationship between variables (Schober and Vetter, 2021) and in this study its objective was to show when physiological responses occur according to the increase in temperature.

## **Material and Methods**

Data was collected from 16 genetic groups of sheep: Bergamasca (BE), Bergamasca x Santa Inês (BS), Corriedale (CORR), Crioula, Dorper (DR), Dorper x Santa Inês (DRSI), East Friesian x Santa Inês (EFSI), Hampshire Down (HD), Ideal, Ile de France (IF), Ile de France x Santa Inês (IFSI), Merino, Morada Nova (MN), Romney, Santa Inês (SI), Suffolk (SUFF), Texel (TX), Texel x Corriedale (TXCO), and Texel x Santa Inês (TXSI). Among these breeds, Bergamasca (BE), Corriedale (CORR), Crioula, Hampshire Down (HD), Ideal, Ile de France (IF), Merino, Romney, Suffolk, Texel, Texel x Corriedale (TXCO), Ile de France x Santa Ines (IFS), and Texel x Santa Ines (TXSI) are characterized as being wool animals and Santa Ines (SI), Dorper (DR), Dorper x Santa Ines (DRSI), Morada Nova (MN), Poll Dorset x Dorper (PDDR), Poll Dorset x Santa Ines (PDSI), Bergamasca x Santa Ines (BS), and East Friesian x Santa Ines (EFSI) are classified as being hair breeds.

Data was collected at two times of the day, in the morning (8am) and in the afternoon (2pm). At each data acquisition the animals were gathered in a space where they were weighed, measured, their temperatures, heart and respiratory rates measured, and material collected for blood analysis. After the first collection in the morning, the animals were taken to the yard, where they remained exposed to the sun until the time of the second data collection, at 2 pm, with unlimited access to water.

The animals were weighed using a scale and body measurements were measured using a tape. Heart rate (HR) is the number of beats per minute and was measured using a stethoscope and chronometer. Respiration rate (RR) is the number of intercostal muscle movements per minute and was measured visually by counting movements in

the flank region for one minute using a stopwatch. Rectal temperature (RT) was measured using a clinical thermometer placed against the rectal wall for three minutes. The images of eye, nose, neck and axilla of the animal were obtained using Infrared Thermography (IRT) and QuickReport (FLIR Systems Inc., USA) software was used for analysis of the images.

Samples were collected to determine the number and length of hairs. Using appropriate pliers, portions of hair were removed from the upper central region of the shoulder (approximate area of 1 cm<sup>2</sup>) according to Lee (1953). To measure hair length, a pachymeter was used, considering only the ten longest hairs in each sample, according to Udo (1978).

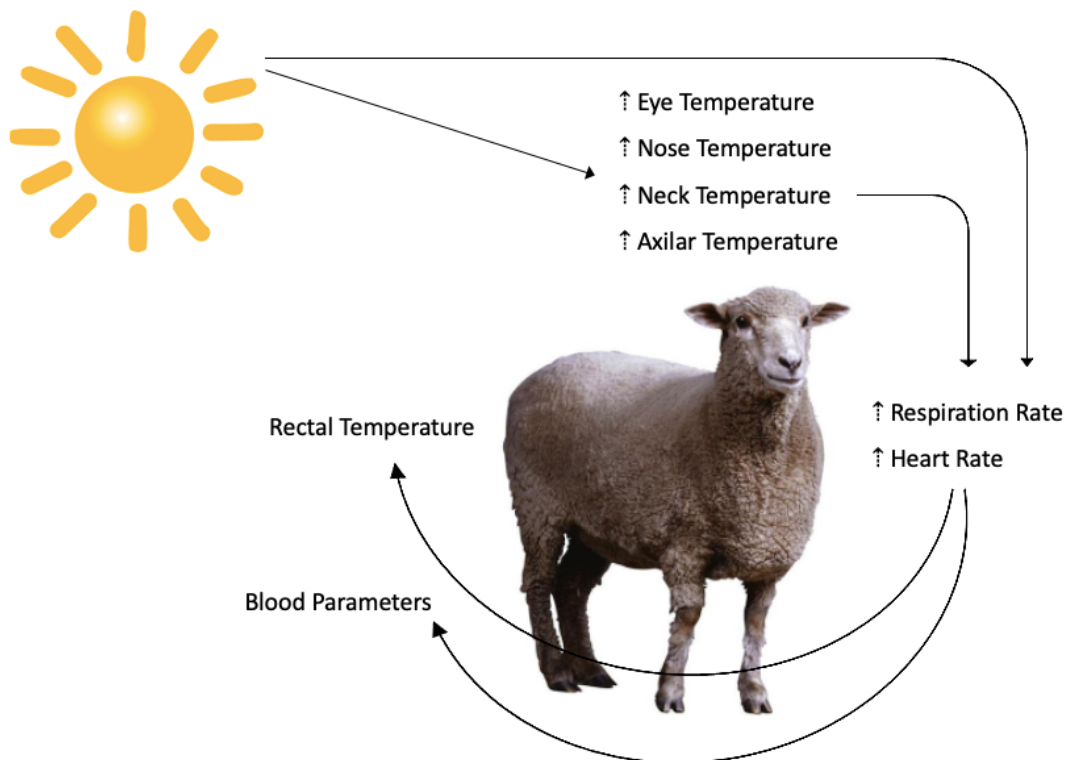
During the experimental period, environmental data such as air temperature and humidity, black globe temperature in sun and shade, and wind speed were obtained from an environmental monitoring station. Based on these data, the temperature and humidity index (THI) was calculated according to Thom (1959).

The data obtained from the sample collection were analyzed using the SAS v 9.4 software (SAS Institute, Cary, North Carolina). Logistic regression (PROC LOGISTIC) and path analysis (PROC CALIS) were used to evaluate the relationships among the variables. Path analysis is a statistical analysis used to evaluate the effects of a group of variables acting on a specific outcome through multiple pathways. Thus, we analyzed the effects of the samples collected on each other, as well as the effect of the environment on physiological parameters. For the logistic regression analysis, THI and respiratory rate and rectal temperature values were used to analyze the response of animals according to environmental conditions. The animals were separated into two groups for comparison purposes. Thus, we have the group of wooled animals and the group of hair animals.

This study was approved by Ethics Committee for Animal Experimentation, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Protocol Number 22773.

## **Results**

Before performing the statistical path analyses, a hypothetical scheme was drawn to illustrate how the variables would influence each other. The arrows represent the relationships between the variables, where the base indicates the variable that influences the one at the end of the arrow. The first variable chosen was THI, since it is the variable used to represent the environmental conditions to which the animals were exposed, and it would be responsible for initiating the physiological responses in the animals. Then, according to the hypothesized scheme, we would have the increase of the animals' body temperature, such as eye temperature, nasal temperature, and axillary temperature, and also increased respiratory rate and heart rate. Physiological parameters such as respiration and heartbeat would initiate a response to this increased body temperature. Probably the values of red blood cells and lymphocytes would change due to this adaptation attempt. Finally, rectal temperature would be the last animal response to thermal discomfort (Figure 1).



**Fig. 1** Diagram to illustrate the influence of variables on each other for constructing the path analysis.



After the above diagram was assembled, the path analysis was performed in the SAS software. The results obtained are shown in the table below (Table 1).

Table 1. Path analysis of morphological and physiological parameters with significant result.

FROM	TO	ESTIMATE	STANDARD ERROR	P<0.05
	RR	0.27995	0.14572	*
THI	NET	0.38426	0.13477	*
	AXT	0.34433	0.13937	*
EYT	HEM	0.53578	0.21838	*
	HGB	0.44039	0.21918	*
AXT	HEM	0.50896	0.19552	*
	HGB	0.41328	0.19666	*
	LYMPH	0.15889	0.01430	*
BDYL	HGB	1,8992	0.62709	*
BCKL	HEM	1,3357	0.54900	*
	HGB	1,9615	0.54365	*
WH	HGB	0.47137	0.18159	*
HT	HEM	0.36405	0.09004	*
	HGB	0.24249	0.09901	*
HL	HEM	0.38378	0.08955	*
	HGB	0.41909	0.09406	*
HN	HEM	-0.39806	0.07782	*
	HGB	-0.28115	0.08869	*
LYMPH	HEM	0.77636	0.14850	*
	HGB	0.75400	0.08869	*
HEM	HR	0.61725	0.25997	*
	RR	0.39309	0.07271	*
HGB	HR	0.83392	0.36269	*
	RR	0.25611	0.07486	*
BCKL	HR	-163.712	0.42945	*
BDYL	HR	-205.801	0.48440	*
CC	HR	-0.72985	0.19841	*
BCKL	RT	0.45131	0.21815	*
HN	RT	0.39704	0.15809	*
NOT	RT	0.59412	0.19679	*
AXT	RT	0.40032	0.18422	*
EYT	RT	0.53588	0.21860	*

HGB	RT	0.50702	0.21722	*
LYMPH	RT	0.47215	0.15273	*

\*= Significant; THI=Temperature and Humidity Index; RR= Respiration Rate; NET= Neck Temperature; AXT= Axillary Temperature; EYT= Eye Temperature; BCKL= Back Length; BDYL= Body Length; WH= Withers Height; HT= Hair Thickness; HN= Hair Number; HL= Hair Length; LYMPH= Lymphocytes; HEM= Red Blood Cells; HGB= Hemoglobin; CC= Chest Circumference; HR= Heart Rate; NOT= Nose Temperature; RT= Rectal Temperature.

According to the results of path analysis, THI had a positive influence on respiratory rate (RR), and neck and axillary temperatures (NET and AXT respectively). However, it did not show significant results with heart rate (HR) and rectal temperature (RT).

Analyzing whether there is a correlation between animal temperatures and blood count there were some significant results. Eye temperature (EYT) and axillary temperature (AXT) were shown to correlate positively with red blood cell (HEM) and hemoglobin (HGB). AXT also had a positive correlation with lymphocytes (LYMPH). In addition, body measurements were also positively related; BDYL, BCKL and WH were positively related to HGB, and BCKL was also positively related to HEM. Hair length, hair thickness and hair number, (HL, HT and HN) also correlated with HEM and HGB values. Animal size showed no correlation with LYMPH, but this was shown to be positively correlated with HEM and HGB.

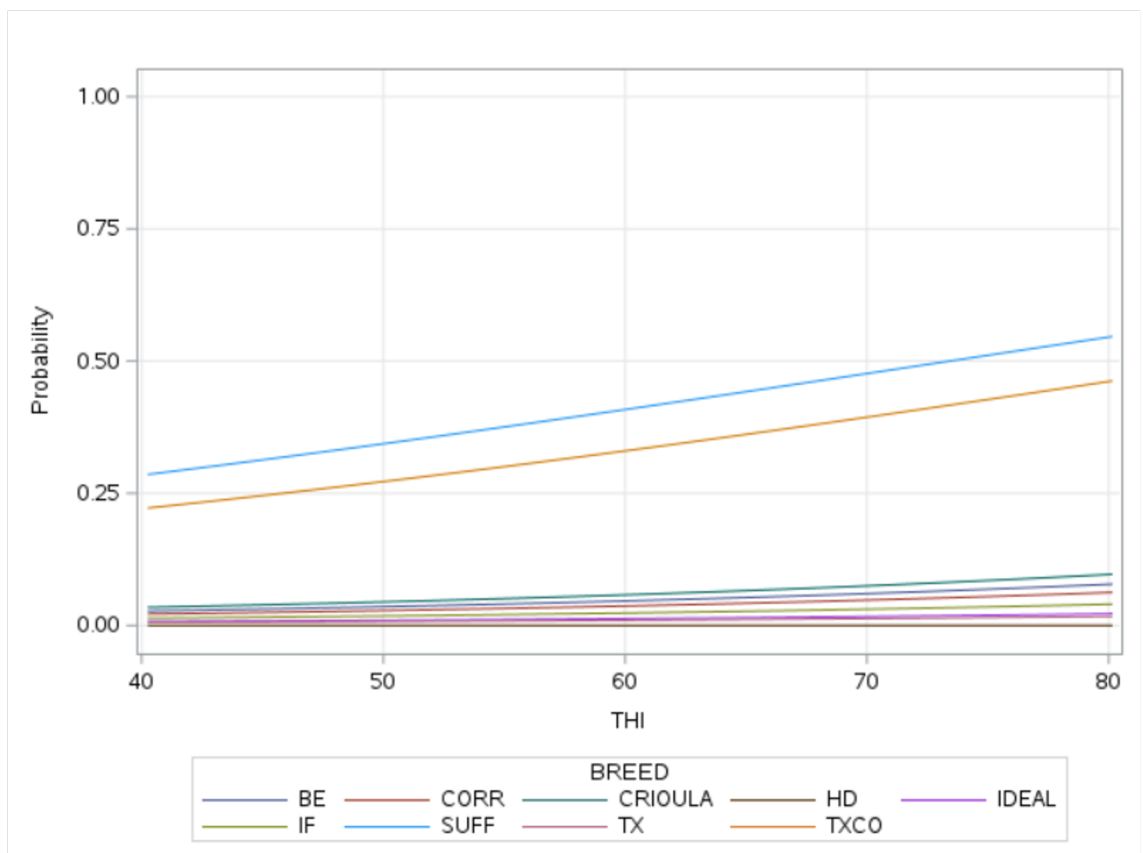
Path analysis showed that red blood cells and hemoglobin (HEM and HGB) have positive correlation with HR and RR. Similarly, some body measurements such as BCKL, BDYL and CC showed the same result. However, hair characteristics did not show a significant result.

When analyzing the correlation between the variables and the rectal temperature (RT), we observed that several of them showed a positive correlation. The temperature and humidity index did not show significant correlation with RT, but the nose, eye and axilla temperatures showed significant results. Back length and the hair number also correlated positively with RT. The red blood cells and the lymphocytes also showed a positive correlation with rectal temperature.

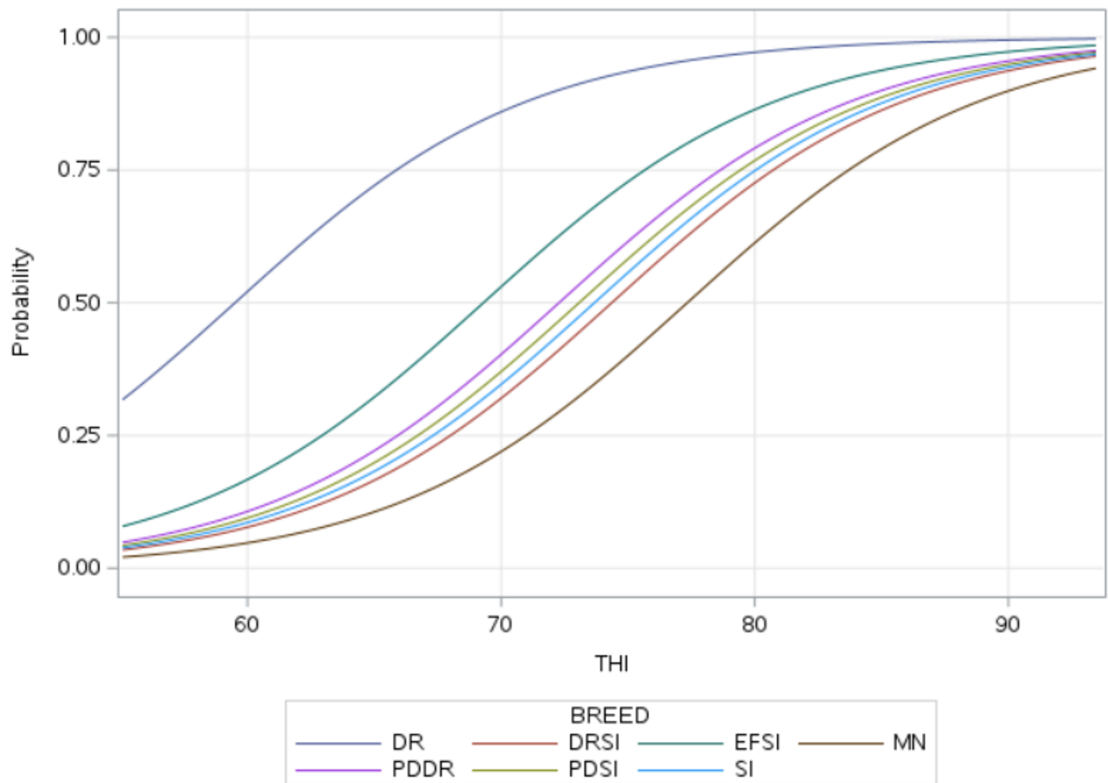
Logistic regression analysis was used in this study to compare the behavior of different breeds against THI. We used the RR and RT values to visualize how these

physiological parameters help the animal's response when exposed to challenging environmental conditions. The animals were separated into two groups (wool and hair) for comparison of the graphs.

The RR logistic regression analysis shows how the animals' respiration changes according to increasing THI values. Among the animals with wool, the Suffolk breed had RR changes before the others. Fifty percent of the Suffolk (SUFF) animals already had their respiratory rate altered when the THI was around 75. The Hampshire Down (HD) animals did not have altered RR even with THI above 80 (Figure 2A). Analyzing the group of hair animals, animals of the Dorper breed (DR) were the first to show alterations in RR, where at a THI of approximately 60, 50% of the animals of this breed already showed an altered respiratory rhythm. On the other hand, the Morada Nova (MN) breed was the last to show alterations in RR, since half of these animals showed changes when the THI was close to 80 (Figure 2B).



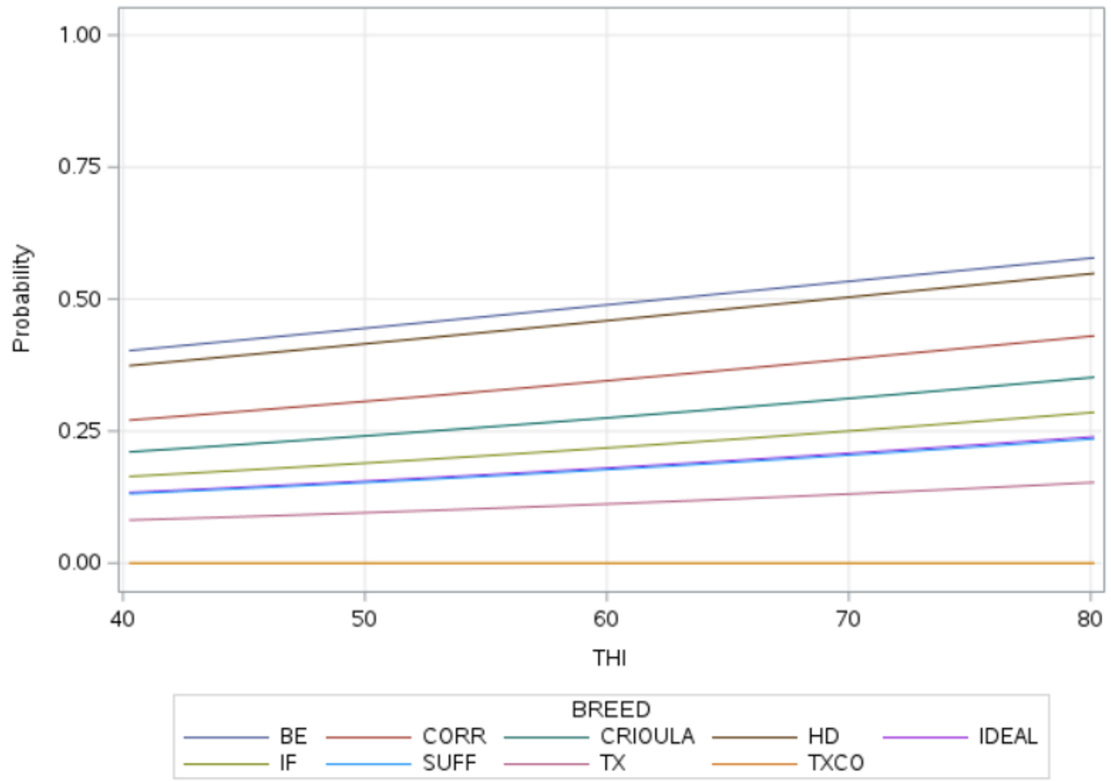
A



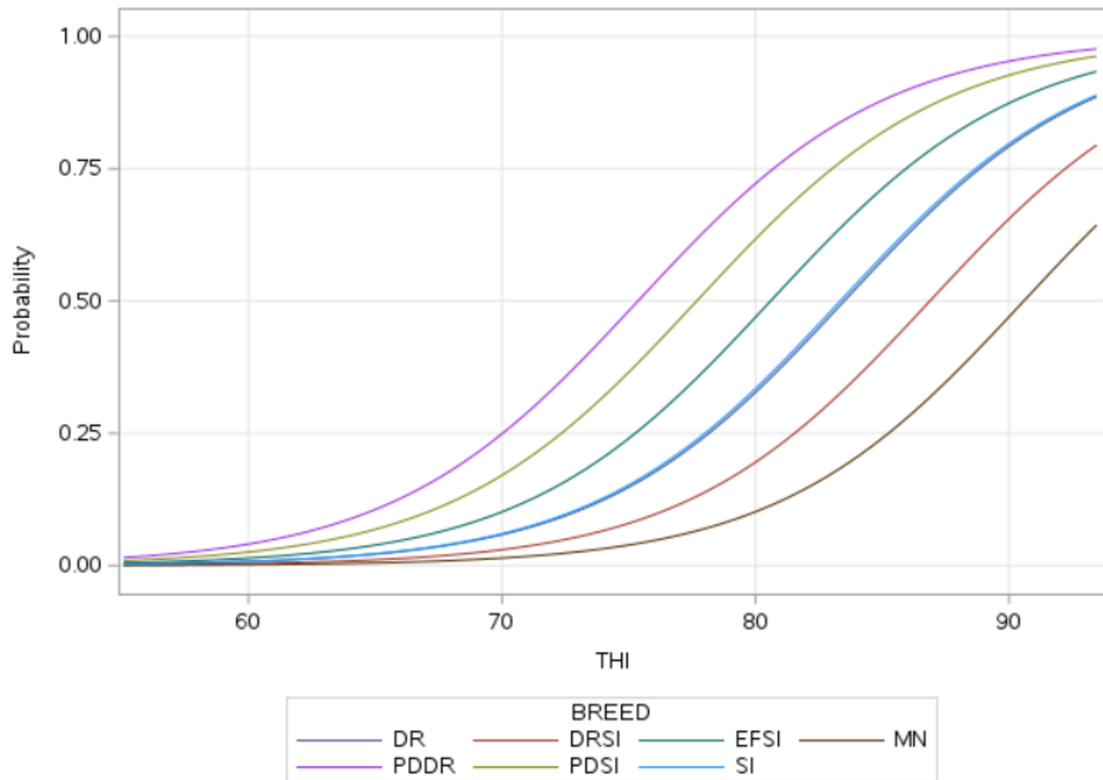
B

Fig 2. Probabilities of response outside normal conditions of breeds in relation to Respiratory Rate (RR) according to THI in wooled (A) and hair (B) breeds

Logistic regression analysis of RT shows how rectal temperature changes with increasing THI. Among the animals with wool, those of the Bergamasca breed had RT changes before the others. With THI at approximately 60, 50% of the Bergamasca animals had altered RT. The Texel x Corriedale (TXCO) animals had no alteration in RT even with THI above 80 (Figure 3A). From the group of animals with hair, Poll Dorset x Dorper (PDDR) animals were the first to show alteration in RT, where at a THI of approximately 75, 50% of animals of this breed already showed alteration in rectal temperature. On the other hand, the Morada Nova (MN) breed was the last to show alteration in RT, since half of these animals showed alteration when the THI exceeded 90 (Figure 3B).



A



B

Fig 3. Probabilities of response outside normal conditions of breeds in relation to Rectal Temperature (RT) according to THI in wooled (A) and hair (B) breeds.

## Discussion

The Temperature and Humidity Index (THI) is one of the simplest methods used to estimate animal responses to climate, combining ambient temperature and relative humidity (Lewis Baida et al., 2021). This index is widely used as an indicator of animal stress caused by climatic conditions (Finocchiaro et al., 2005).

According to path analysis, THI was shown to have a positive correlation with respiratory rate (RR). This shows us that as THI values increase, RR also increases. For van Wettere et al. (2021), when exposed to high ambient temperatures, sheep activate compensatory mechanisms that help the body adapt to extreme environmental conditions, including increased respiratory rate. Heart rate (HR) and rectal temperature (RT) were also tested to see if they correlated with THI, but neither showed significant results. This result corroborates McManus et al. (2020), who stated that RR is one of the most sensitive physiological variables and also Macías-Cruz et al. (2016), who stated that compensatory variations in RR happen before variations in other variables, such as rectal temperature and heart rate. Neck and axillary temperatures (NET and AXT) showed positive correlation with THI. Mammals have four mechanisms of thermoregulation: conduction, radiation, convection, and evaporation. When the ambient temperature approaches the animal's body temperature, evaporation becomes the main heat loss process and occurs through transpiration (Collier et al., 2019). Thus, as THI increases, the body surface temperature, represented in this study by NET to AXT, also increases. This increase in body temperature may be a response to increased blood flow and the redistribution of blood to sites closer to the body surface in an attempt to decrease internal temperature.

Through path analysis we realize that there is possibly a cascading effect between an increase in environmental temperature, leading to an increase in body temperature, and then an increase in the number of red blood cells and hemoglobin. Axillary temperature (AXT) showed positive correlation with HEM, HGB, and LYMPH and

was previously shown to be related to THI. Eye temperature (EYT) also correlated positively with HEM and HGB. According to Delfino et al. (2012) and Abdelnour et al. (2019), variations in the number of red blood cells can be an indication of thermal stress, and are perceived through changes in the number of red blood cells, leukocytes and hemoglobin, because it promotes a change in the constituents of the blood and biological pathways. Dukes and Reece (2017) explain that the increase in red blood cells is related to the animal's heat stress, because stress causes the release of catecholamines, which lead to an increase in blood pressure and contraction of the spleen, causing greater mobilization of red blood cells and releasing them into the bloodstream.

Animal size has also been shown to correlate with blood parameters. The results show that HEM and HGB are positively related to BCKL, BDYL and WH. This indicates that larger animals had more blood constituents. According to Pacifici et al. (2017), smaller animals are more adapted to warm climates and to Seixas et al. (2017), smaller animals are more thermotolerant. This information corroborates our result, which shows that larger animals are more likely to enter heat stress earlier and thus present an imbalance in red cell production. Hair types also correlate with HEM and HGB according to the analysis. In this study, HL and HT showed positive correlation with blood values and HN showed negative correlation. This indicates that the longer and thicker the hair, the higher the HEM and HGB values. However, the more numerous the hair, the lower the HEM and HGB values. According to Silva (2000), long and thick hair transfers more heat to the body than shorter hair, and this has negative effects on the blood parameters. On the other hand, according to McManus et al. (2011), the quantity of hair facilitates the control of the animal's temperature, because the more hair, the more sweat glands the animal has, which facilitates adaptation to hot weather.

There is a positive correlation between LYMPH and HEM and HGB. The increase in body temperature promotes an increase in the production of lymphocytes, as we can see in the positive correlation between AXT and LYMPH explained above. And this increase in LYMPH values generates an increase in HEM and HGB. When the animal is going through stressful moments, there is an increase in the production of lymphocytes and red blood cells because of the stimulation of the nervous system (Vieira et al., 2022).

Therefore, there is a greater consumption of oxygen and the body needs to release more red blood cells into the blood to increase tissue oxygenation (Correa et al., 2012).

The path analysis to verify if there is a correlation between blood parameters and HR and RR was positive. This shows us that possibly an increase in HEM and HGB production triggered by one or more factors already discussed above produces a response in respiratory and cardiac frequency. One explanation for this result could be the increased blood flow generated by the increased HEM and HGB. Thus, the heart and lungs must increase their rate of functioning. Davies and Maconochie (2009) explain that as the body temperature rises, blood is redirected to the surface of the skin to facilitate cooling. This is followed by vasodilation and consequently hypovolemia and increased metabolic rate due to pyrexia, thus requiring an increase in HR and RR. Body measurements such as BCKL, BDYL, and CC showed correlation with HR and RR. The larger the animal, the lower the HR values, indicating a negative correlation between these variables. For Berihulay et al. (2019), larger animals have slower metabolism, which would explain the result of the path analysis. Cardoso et al. (2015) and Vieira et al. (2022) found similar results in studies conducted with large ruminants, in which the larger the chest measurements and body length, the lower were the values of HR and RR.

Path analysis between several variables and rectal temperature showed positive correlations between them. The size of the animal and the amount of hair showed significant results. Body temperatures, such as NOT, AXT and EYT showed the same results. Finally, HGB and LYMPH also showed positive correlation with RT. The positive relationship between BCKL and RT can be explained by the tendency of larger animals to be thermally stressed for longer periods of time, because they have greater difficulty in dissipating heat due to their slower metabolism (Berihulay et al., 2019). Verzuh et al. (2023) explain that large-bodied endothermic animals have thicker skin layers and lower surface area to volume ratios than smaller animals, which limits their ability to dissipate heat. Consequently, as temperatures rise, thermoregulation costs are higher for larger species. The body temperatures being correlated with RT indicates that all methods are able to indicate the body temperature variation of the animals. This result may suggest that the preliminary scheme was correct in indicating that RT varies after the other



physiological variables, because AXT and NET are already shown to correlate with THI and RT is not. That is, variations in AXT and NET can be perceived before RT. Seixas et al. (2017) observed that there is a positive correlation between thermographic temperatures and RT, which may be an indication that IRT is a viable technique to be applied to assess animal thermal comfort. Also, according to these authors, AXT was the one that best correlated with RT. Blood parameters such as HGB and LYMPH have a positive correlation with RT. An increase in these values indicates that the animal is undergoing some kind of stress and, in this case, accompanied by an increase in RT, indicates heat stress.

Cutaneous blood flow in animals increases in response to heat stress, carrying heat from the body core to the periphery and increasing heat loss through sensible heat loss (Choshniak et al., 1982). However, as the ambient temperature increases, this sensible heat exchange is less and less due to the negative temperature difference between the environment and the body surface, and therefore latent heat loss becomes primary in the thermoregulation of animals. As internal heat in animal increases, several physiological systems are affected in an attempt to reduce heat production and increase heat loss. Elevated core temperature is characteristic of heat stress and is commonly measured with a rectal thermometer (Dahl et al., 2020). This whole process shows us that the rectal temperature 'is a response that occurs after the imbalance of other variables.

Logistic regression analysis was used to analyze the effects of THI on RR and RT. THI has been widely applied in moderate to warm conditions, as it considers air temperature and relative humidity (G. LeRoy Hahn et al., 2013). The animals were divided into two groups for comparison purposes between those with wool and those without (with hair). Analyzing first RR, in the group of animals with wool, we have those animals of the Suffolk breed showed alteration in respiration before the other breeds. More than half of the Suffolk animals had altered RR when the THI was just above 70. The Texel x Corriedale (TXCO) breed showed a curve more similar to SUFF, but even with THI above 80, less than 50% of the animals had altered RR. The other breeds showed very little change even with the increase in THI. Suffolk sheep originated in England and arrived in Brazil in the mid-1930s to be raised for meat production. The Suffolk breed

has a large developed body, a robust constitution and conformation that is typically used for meat production (ABCOS, 2013; Embrapa, 2021). According to McManus et al. (2014), the breed is raised mainly in Paraná (a state located in southern Brazil), where the average THI is 74. This adaptation to places with THI values close to 74 may be an explanation for SUFF having presented changes in RR when THI was slightly above 70 in this study. The Corriedale breed is originally from New Zealand and arrived in Brazil in the 1930s in the southern region of Brazil, but the first animals were imported from Uruguay. About 15 years after the arrival of the first animals, Brazil began importing these animals directly from New Zealand (Lemos, 2014) and today they are one of the main breeds raised in southern Brazil. The Texel breed originated in Holland and arrived in Brazil in the 1970s (EMBRAPA, 2021a). Crossing meat-producing breeds, such as Texel, and dual-purpose breeds, such as Corriedale, are alternatives for increasing meat production using well-established breeds (Rota et al., 2014).

Next, the RR analysis for hair breeds shows that the animals from the Dorper breed (DR) were the first to present alterations in RR, and at a THI of approximately 60, 50% of the animals from this breed already presented alterations in respiratory rhythm. The other breeds showed a very different behavior, because only when the THI was above 70, they presented more than half of the animals with alterations in RR. The Morada Nova (MN) breed was the last to present alterations in RR, because half of these animals presented alterations when the THI was close to 80. The Dorper breed originated in South Africa and was developed in the 1930s by crossing other breeds with the aim of obtaining productive animals in more arid regions (EMBRAPA, 2021b). According to McManus et al. (2014), this breed is predominantly found in the northeast region of Brazil. It is a breed known for its high adaptability and robustness, although it did not show good tolerance to heat with respect to respiration; however, when analyzing RT, the Dorper breed showed good tolerance, as it only showed alterations in the RT of more than half of the animals when the THI was close to 85. The Morada Nova breed showed greater heat tolerance when analyzing RR. This breed is considered a naturalized Brazilian breed and is raised mainly in the Northeast region of Brazil, characterized by high temperatures (Alves et al., 2023). According to Paim et al. (2021), in a study on the origin and population structure of sheep breeds, the Morada Nova

breed could have ancestry in West Africa. These conditions help explain why this breed showed less alteration in respiration and, consequently, greater tolerance to increased THI.

Logistic regression analysis of RT according to THI showed that in the group of animals with wool, the Bergamasca breed had a response of RT change before the other breeds. With THI at approximately 60, 50% of the Bergamasca animals had altered RT. TXCO animals did not show altered RT even with THI above 80. The Bergamasca breed is originally from Italy and was introduced in Brazil in the 1930's (De Miranda and McManus, 2000), but due to its quick adaptation to the climatic conditions we have today a breed considered naturalized Brazilian (Brazilian Bergamasca) and is mainly raised in the Northeast region of Brazil. TXCO animals did not show alteration in RT, although they were the second breed to show variation in RR. For this breed, the alteration in respiration indicating heat stress occurs long before the rise in rectal temperature. Observing the graphs of the animals with hair, we have that PDDR was the first breed to present alteration in RT, in which at a THI of approximately 75, 50% of the animals of this breed already presented alteration in rectal temperature. On the other hand, the MN breed was the last to present alteration in RT, as half of these animals only presented alteration in temperature when THI exceeded 90. According to the Brazilian Association of Sheep Breeders (ARCO, n.d.), the Poll Dorset breed originated in the southwest of England. Paim et al. (2019), in a study on crossbreeding, observed that among the crossbreeds studied, Dorper X Poll Dorset had the thickest skin. This result may be a characteristic that explains why PDDR presented alteration in RT before the other breeds, because animals with thicker skin tend to have more difficulty in dissipating heat when they are under heat stress. The MN breed again showed the last response to increased THI. For both RR and RT, this breed showed good heat tolerance. Analyzing RT we noticed that 50% of the animals showed an altered rectal temperature response only with THI above 90. Ribeiro et al. (2008) also found similar results in a study that aimed to determine the thermal comfort indices in sheep facilities and Morada Nova was considered the breed best adapted to the experimental conditions.

## References

- ABCOS, 2013. A trajetória do Suffolk no Brasil [WWW Document].
- Abdelnour, S.A., Abd El-Hack, M.E., Khafaga, A.F., Arif, M., Taha, A.E., Noreldin, A.E., 2019. Stress biomarkers and proteomics alteration to thermal stress in ruminants: A review. *J. Therm. Biol.* 79, 120–134.  
<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.12.013>
- Alves, G.C., Vega, W.H.O., Costa, H.H.A., Silveira, R.M.F., Landim, A.V., 2023. Morada Nova lambs' meat production potential description through morphometric evaluation. *Cienc. Rural* 53, 1–13. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210716>
- ARCO, n.d. Poll Dorset [WWW Document]. URL  
<http://www.arcoovinos.com.br/PadraoRacial/Details/17> (accessed 4.23.23).
- Berihulay, H., Abied, A., He, X., Jiang, L., Ma, Y., 2019. Adaptation mechanisms of small ruminants to environmental heat stress. *Animals* 9, 1–9.  
<https://doi.org/10.3390/ani9030075>
- Cardoso, C.C., Peripolli, V., Amador, S.A., Brandão, E.G., Esteves, G.I.F., Sousa, C.M.Z., França, M.F.M.S., Gonçalves, F.G., Barbosa, F.A., Montalvão, T.C., Martins, C.F., Neto, A.M.F., McManus, C., 2015. Physiological and thermographic response to heat stress in zebu cattle. *Livest. Sci.* 182, 83–92.  
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.10.022>
- Choshniak, I., Jenkinson, D.M.E., Blatchford, D.R., Peaker, M., 1982. Blood flow and catecholamine concentration in bovine and caprine skin during thermal sweating. *Comp. Biochem. Physiol. Part C, Comp.* 71, 37–42. [https://doi.org/10.1016/0306-4492\(82\)90007-7](https://doi.org/10.1016/0306-4492(82)90007-7)
- Collier, R.J., Baumgard, L.H., Zimbelman, R.B., Xiao, Y., 2019. Heat stress: Physiology of acclimation and adaptation. *Anim. Front.* 9, 12–19.  
<https://doi.org/10.1093/af/vfy031>
- Correa, M.P.C., Cardoso, M.T., Castanheira, M., Landim, A. V., Dallago, B.S.L., Louvandini, H., McManus, C., 2012. Heat tolerance in three genetic groups of lambs in central Brazil. *Small Rumin. Res.* 104, 70–77.  
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.11.001>

- Dahl, G.E., Tao, S., Laporta, J., 2020. Heat Stress Impacts Immune Status in Cows Across the Life Cycle. *Front. Vet. Sci.* 7, 1–15. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00116>
- Davies, P., Maconochie, I., 2009. The relationship between body temperature, heart rate and respiratory rate in children. *Emerg. Med. J.* 26, 641–643. <https://doi.org/10.1136/emj.2008.061598>
- De Miranda, R.M., McManus, C., 2000. Desempenho de Ovinos Bergamácia na Região de Brasília. *Rev. Bras. Zootec.* 29, 1661–1666. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982000000600010>
- Delfino, L.J.B., Souza, B.B., Silva, W.W., 2012. Efeito do estresse calórico sobre o eritrograma de ruminantes. *ACSA* 8, 1–7.
- Dukes, H.H., Reece, W.O., 2017. *Duke's: Fisiologia dos Animais Domésticos*, 2017th ed. Embrapa, 2021. Suffolk [WWW Document]. URL <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/criacoes/ovinos-de-corte/pre-producao/caracteristicas/racas/comerciais/suffolk> (accessed 4.21.23).
- EMBRAPA, 2021a. Texel [WWW Document]. Embrapa. URL <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/criacoes/ovinos-de-corte/pre-producao/caracteristicas/racas/comerciais/texel> (accessed 4.21.23).
- EMBRAPA, 2021b. Dorper [WWW Document]. Embrapa. URL <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/criacoes/ovinos-de-corte/pre-producao/caracteristicas/racas/comerciais/dorper> (accessed 4.22.23).
- Finocchiaro, R., Van Kaam, J.B.C.H.M., Portolano, B., Misztal, I., 2005. Effect of heat stress on production of mediterranean dairy sheep. *J. Dairy Sci.* 88, 1855–1864. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72860-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72860-5)
- G. LeRoy Hahn, John B. Gaughan, Terry L. Mader, Roger A. Eigenberg, 2013. Chapter 5: Thermal Indices and Their Applications for Livestock Environments. *Livest. Energ. Therm. Environ. Manag.* 113–130. <https://doi.org/10.13031/2013.28298>
- Godde, C.M., Mason-D'Croz, D., Mayberry, D.E., Thornton, P.K., Herrero, M., 2021. Impacts of climate change on the livestock food supply chain; a review of the evidence. *Glob. Food Sec.* 28, 100488. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100488>
- Hayhoe, K., Wuebbles, D.J., Easterling, D.R., Fahey, D.W., Doherty, S., Kossin, J.P.,

- Sweet, W. V., Vose, R.S., Wehner, M.F., 2018. Our changing climate, in: Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment, Volume II. Washington DC, pp. 59–76. <https://doi.org/10.5822/978-1-61091-885-5>
- Joy, A., Dunshea, F.R., Leury, B.J., Clarke, I.J., Digiacomio, K., Chauhan, S.S., 2020. Resilience of small ruminants to climate change and increased environmental temperature: A review. *Animals* 10. <https://doi.org/10.3390/ani10050867>
- Lee, D.K., 1953. Manual of field studies on the heat tolerance of domestic animals. FAO Dev. Pap. No. 38 Agric.
- Lemos, E.A., 2014. Artigos ABCCorriedale 50 Anos [WWW Document]. URL <https://www.paginarural.com.br/artigo/2447/abccorriedale-50-anos> (accessed 4.21.23).
- Lewis Baida, B.E., Swinbourne, A.M., Barwick, J., Leu, S.T., van Wettere, W.H.E.J., 2021. Technologies for the automated collection of heat stress data in sheep. *Anim. Biotelemetry* 9, 1–15. <https://doi.org/10.1186/s40317-020-00225-9>
- Macías-Cruz, U., López-Baca, M.A., Vicente, R., Mejía, A., Álvarez, F.D., Correa-Calderón, A., Meza-Herrera, C.A., Mellado, M., Guerra-Liera, J.E., Avendaño-Reyes, L., 2016. Effects of seasonal ambient heat stress (spring vs. summer) on physiological and metabolic variables in hair sheep located in an arid region. *Int. J. Biometeorol.* 60, 1279–1286. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1123-6>
- McManus, C., Hermuche, P., Paiva, S., Ferrugem Moraes, J., de Melo, C., Mendes, C., 2014. Geographical distribution of sheep breeds in Brazil and their relationship with climatic and environmental factors as risk classification for conservation. *Brazilian J. Sci. Technol.* 1, 3. <https://doi.org/10.1186/2196-288x-1-3>
- Mcmanus, C., Louvandini, H., Martins, R.S., 2011. The challenge of sheep farming in the tropics: Aspects related to heat tolerance Article in *Revista Brasileira de Zootecnia · Animal Production View project*.
- McManus, C.M., Faria, D.A., Lucci, C.M., Louvandini, H., Pereira, S.A., Paiva, S.R., 2020. Heat stress effects on sheep: Are hair sheep more heat resistant? *Theriogenology* 155, 157–167. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.05.047>
- Pacifici, M., Visconti, P., Butchart, S.H.M., Watson, J.E.M., Cassola, F.M., Rondinini, C.,

2017. Species' traits influenced their response to recent climate change. *Nat. Clim. Chang.* 7, 205–208. <https://doi.org/10.1038/nclimate3223>
- Paim, T.P., Bianchini, E., Esteves, G., Daltro, D.S., Cardoso, C.C., Braccini Neto, J., McManus, C., 2019. Desempenho de cruzamentos entre raças deslanadas localmente adaptadas e raças especializadas para produção de carne. *Arch. Zootec.* 68, 46–52. <https://doi.org/10.21071/az.v68i261.3938>
- Paim, T.P., Paiva, S.R., de Toledo, N.M., Yamagishi, M.B., Carneiro, P.L.S., Facó, O., de Araújo, A.M., Azevedo, H.C., Caetano, A.R., Braga, R.M., McManus, C., 2021. Origin and population structure of Brazilian hair sheep breeds. *Anim. Genet.* 52, 492–504. <https://doi.org/10.1111/age.13093>
- Pawar, A.B., Jain, S.K., Chavan, M.M., Gurav, A.A., Mhade, R.R., 2022. A response of dairy animals to heat stress and mitigation strategies : A literature review. *Pharma Innov. J.* 11, 742–749.
- Ribeiro, N., Furtado, D., Medeiros, A., Ribeiro, M., Silva, R., 2008. Avaliação dos índices de conforto térmico, parâmetros fisiológicos e gradiente térmico de ovinos nativos. *Construções Rurais e Ambiência* 28, 614–623.
- Rota, E. de L., Osorio, M.T.M., Osorio, J.C.S., Oliveira, N.M. de, Barboza, J., Kasinger, S., 2014. Efeitos do cruzamento de carneiros da raça Texel com ovelhas Corriedale e Ideal sobre a qualidade da carne. *Rev. Bras. Agrociencia* 2, 487–491.
- Schober, P., Vetter, T.R., 2021. Logistic Regression in Medical Research. *Anesth. Analg.* 132, 2019.
- Seixas, L., De Melo, C.B., Tanure, C.B., Peripolli, V., McManus, C., 2017. Heat tolerance in Brazilian hair sheep. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 30, 593–601. <https://doi.org/10.5713/ajas.16.0191>
- Silanikove, N., Koluman, D.N., 2015. Impact of climate change on the dairy industry in temperate zones: Predications on the overall negative impact and on the positive role of dairy goats in adaptation to earth warming. *Small Rumin. Res.* 123, 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.11.005>
- Silva, R.G. da, 2000. Introdução à bioclimatologia animal. Editora Nobel, São Paulo.
- Thom, E.C., 1959. The Discomfort Index. *Weatherwise* 12, 57–61. <https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>

- Tyasi, T.L., Mathye, N.D., Danguru, L.W., Rashijane, L.T., Mokoena, K., Makgowo, K.M., Mathapo, M.C., Molabe, K.M., Bopape, P.M., Maluleke, D., 2020. Correlation and path analysis of body weight and biometric traits of Nguni cattle breed. *J. Adv. Vet. Anim. Res.* 7, 148–155. <https://doi.org/10.5455/JAVAR.2020.G404>
- Udo, H.M.J., 1978. Hair coat characteristics in Friesian heifers in the Netherlands and Kenya : experimental data and a review of literature. *Meded Landbouwhogeschool* 78, 136.
- van Wettere, W.H.E.J., Kind, K.L., Gatford, K.L., Swinbourne, A.M., Leu, S.T., Hayman, P.T., Kelly, J.M., Weaver, A.C., Kleemann, D.O., Walker, S.K., 2021. Review of the impact of heat stress on reproductive performance of sheep. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 12, 1–18. <https://doi.org/10.1186/s40104-020-00537-z>
- Verzuh, T.L., Rogers, S.A., Mathewson, P.D., May, A., Porter, W.P., Class, C., Knox, L., Cufaude, T., Hall, L.E., Long, R.A., Monteith, K.L., 2023. Behavioural responses of a large, heat-sensitive mammal to climatic variation at multiple spatial scales. *J. Anim. Ecol.* 92, 619–634. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13873>
- Vieira, R., Louvandini, H., Barcellos, J., Martins, C.F., McManus, C., 2022. Path and logistic analysis for heat tolerance in adapted breeds of cattle in Brazil. *Livest. Sci.* 258, 104888. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.104888>
- Wijffels, G., Sullivan, M., Gaughan, J., 2021. Methods to quantify heat stress in ruminants: Current status and future prospects. *Methods* 186, 3–13. <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2020.09.004>



## **CAPÍTULO 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente trabalho buscou estudar a fisiologia dos animais de fazenda frente ao estresse térmico utilizando ferramentas pouco comuns. Foi observado que por meio de técnicas estatísticas, de análise de dados e mapeamento bibliográfico é possível gerar resultados confiáveis. Esses resultados podem ser determinantes para pesquisadores e agentes públicos em tomadas de decisões futuras.

A análise da caminhos mostra de maneira mais detalhada como ocorrem as respostas fisiológicas de pequenos e grandes ruminantes quando submetidos a situações de estresse. É possível observar como os animais respondem a climas desafiadores e quais características morfológicas aceleram ou retardam esses mecanismos. A análise de regressão logística traz claramente os limites fisiológicos de cada raça, demonstrando a importância desse tipo de análise em situações mais específicas.

A produção animal vem passando por novos desafios principalmente em virtude das mudanças climáticas. É necessário que sistemas de produção estejam em busca de técnicas mais sustentáveis, que gerem menos impactos, usando mais tecnologias e buscando a utilização de animais cada vez mais adaptados. O conhecimento acerca da fisiologia do estresse térmico, bem como o comportamento dos animais frente a condições de calor pode ser uma ferramenta muito útil nessa busca por uma produção mais adequada.

## REFERÊNCIAS

- ABBASS, K. et al. A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 28, p. 42539–42559, 2022.
- ABIOJA, M. O. et al. Roles of candidate genes in the adaptation of goats to heat stress: A review. **Small Ruminant Research**, v. 218, n. August 2022, p. 106878, 2023.
- AL-RAMAMNEH, D. Thermoregulation in Sheep and Goats: A Review. **Asian Journal of Biology**, v. 17, n. 1, p. 34–42, 2023.
- ANGEL, S. P. et al. Climate Change and Cattle Production: Impact and Adaptation. **Journal of Veterinary Medicine and Research**, v. 5, n. 4, p. 1134, 2018.
- AYANLADE, A.; OJEBISI, S. M. Climate change impacts on cattle production: analysis of cattle herders' climate variability/change adaptation strategies in Nigeria. **Change and Adaptation in Socio-Ecological Systems**, v. 5, n. 1, p. 12–23, 2020.
- BAGATH, M. et al. The impact of heat stress on the immune system in dairy cattle: A review. **Research in Veterinary Science**, v. 126, n. July, p. 94–102, 2019.
- BERIHULAY, H. et al. Adaptation mechanisms of small ruminants to environmental heat stress. **Animals**, v. 9, n. 3, p. 1–9, 2019.
- BERNABUCCI, U. et al. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. **Animal**, v. 4, n. 7, p. 1167–1183, 2010.
- COLLIER, R. J. et al. Heat stress: Physiology of acclimation and adaptation. **Animal Frontiers**, v. 9, n. 1, p. 12–19, 2019.
- COLLIER, R. J.; GEBREMEDHIN, K. G. Thermal biology of domestic animals. **Annual Review of Animal Biosciences**, v. 3, p. 513–532, 2015.
- DALCIN, V. C. et al. Physiological parameters for thermal stress in dairy cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, n. 8, p. 458–465, 2016.
- DE LA SALLES, A. Y. F. et al. Growth and reproduction hormones of ruminants subjected to heat stress. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 5, n. 1, p. 7–12, 2018.
- ELAYADETH-MEETHAL, M. et al. Size does matter: Parallel evolution of adaptive thermal tolerance and body size facilitates adaptation to climate change in domestic cattle. **Ecology and Evolution**, v. 8, n. 21, p. 10608–10620, 2018.
- EMAMI, N. K. et al. Radical response: Effects of heat stress-induced oxidative stress on

lipid metabolism in the avian liver. **Antioxidants**, v. 10, n. 1, p. 1–15, 2021.

EMBRAPA. **Visão 2030: Futuro da Agricultura Brasileira**. Brasília: [s.n.].

EMBRAPA. **O Agro no Brasil e no Mundo: Um panorama do período de 2000 a 2021**. Disponível em:  
<<https://www.embrapa.br/documents/10180/26187851/O+agro+no+Brasil+e+no+mundo/098fc6c1-a4b4-7150-fad7-aaa026c94a40>>. Acesso em: 20 abr. 2023.

ESCARCHA, J. F.; LASSA, J. A.; ZANDER, K. K. Livestock under climate change: A systematic review of impacts and adaptation. **Climate**, v. 6, n. 3, p. 1–17, 2018.

FABRIS, T. F. et al. Effect of nutritional immunomodulation and heat stress during the dry period on subsequent performance of cows. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 8, p. 6733–6742, 2017.

GAUGHAN, J.; CAWDELL-SMITH, A. J. Impact of Climate Change on Livestock Production and Reproduction. In: SEJIAN, V. et al. (Eds.). **Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation**. 1. ed. [s.l.] Springer, 2015. p. 51–60.

GODDE, C. M. et al. Impacts of climate change on the livestock food supply chain; a review of the evidence. **Global Food Security**, v. 28, n. October 2020, p. 100488, 2021.

GODOY, L. D. et al. A comprehensive overview on stress neurobiology: Basic concepts and clinical implications. **Frontiers in Behavioral Neuroscience**, v. 12, n. July, p. 1–23, 2018.

GONZALEZ-RIVAS, P. A. et al. Effects of heat stress on animal physiology, metabolism, and meat quality: A review. **Meat Science**, v. 162, n. May 2019, p. 108025, 2020.

HABIBU, B. et al. Sensitivity, Impact and Consequences of Changes in Respiratory Rate During Thermoregulation in Livestock – A Review. **Annals of Animal Science**, v. 19, n. 2, p. 291–304, 2019.

HAYHOE, K. et al. Our changing climate. In: **Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment, Volume II**. Washington DC: [s.n.]. v. IIp. 59–76.

HERRERO, M. et al. Articulating the effect of food systems innovation on the Sustainable Development Goals. **The Lancet Planetary Health**, v. 5, n. 1, p. e50–e62, 2021.

IDRIS, M. et al. Non-invasive physiological indicators of heat stress in cattle. **Animals**,

v. 11, n. 1, p. 1–16, 2021.

IPCC. Chapter 5: Ecosystems and Their Goods and Services. In: **Climate Change 2001 Impacts Adaptation and Vulnerability Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. [s.l: s.n.]. p. 235–342.

IPCC. **Climate Change 2022, Mitigation of Climate Change**. [s.l: s.n.].

JOY, A. et al. Resilience of small ruminants to climate change and increased environmental temperature: A review. **Animals**, v. 10, n. 5, 2020.

JOY, A. et al. Non-invasive measure of heat stress in sheep using machine learning techniques and infrared thermography. **Small Ruminant Research**, v. 207, n. November 2021, p. 106592, 2022.

LACETERA, N. Impact of climate change on animal health and welfare. **Animal Frontiers**, v. 9, n. 1, p. 26–31, 2019.

LI, B. et al. Transcriptome analysis of adipose tissues from two fat-tailed sheep breeds reveals key genes involved in fat deposition. **BMC Genomics**, v. 19, n. 1, p. 1–13, 2018.

LIVINGSTON, M. L. et al. Effect of Heat Stress, Dietary Electrolytes, and Vitamins E and C on Growth Performance and Blood Biochemistry of the Broiler Chicken. **Frontiers in Animal Science**, v. 3, n. February, p. 1–11, 2022.

MANZOOR, A. et al. Chapter 4: Effect of Heat and Cold Stress and Its Management in Dairy Animals. In: **Advanced Research in Veterinary Sciences, Volume 1**. [s.l: s.n.]. p. 185.

MCMANUS, C. et al. Genetic and geographical integration for ruminant production under climate change with particular emphasis on Brazil. **Applied Veterinary Research**, v. 1, n. 2, p. 1–2, 2022a.

MCMANUS, C. et al. Bibliographic mapping of heat tolerance in farm animals. **Livestock Science**, v. 269, n. November 2022, p. 105163, 2023a.

MCMANUS, C. et al. Bibliographic mapping of Heat tolerance in Farm Animals. **Livestock Science**, v. 269, n. November 2022, p. 105163, 2023b.

MCMANUS, C. M. et al. Heat stress effects on sheep: Are hair sheep more heat resistant? **Theriogenology**, v. 155, p. 157–167, 2020a.

MCMANUS, C. M. et al. Physiology and genetics of heat stress in cattle. **CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural**

**Resources**, v. 15, n. 18, 2020b.

MCMANUS, C. M. et al. Response to heat stress for small ruminants: Physiological and genetic aspects. **Livestock Science**, v. 263, n. November 2021, 2022b.

MENSI, A.; UDENIGWE, C. C. Emerging and practical food innovations for achieving the Sustainable Development Goals (SDG) target 2.2. **Trends in Food Science and Technology**, v. 111, n. January, p. 783–789, 2021.

MORRELL, J. M. Heat stress and bull fertility. **Theriogenology**, v. 153, n. 2020, p. 62–67, 2020.

ONU. **Sustainable Development Goals and Targets Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. [s.l: s.n.].

PASSAMONTI, M. M. et al. The quest for genes involved in adaptation to climate change in ruminant livestock. **Animals**, v. 11, n. 10, p. 1–25, 2021.

RASHAMOL, V. P. et al. Prediction models, assessment methodologies and biotechnological tools to quantify heat stress response in ruminant livestock.

**International Journal of Biometeorology**, v. 63, n. 9, p. 1265–1281, 2019.

SAMMAD, A. et al. Nutritional physiology and biochemistry of dairy cattle under the influence of heat stress: Consequences and opportunities. **Animals**, v. 10, n. 5, 2020.

SEJIAN, V. et al. Review: Adaptation of animals to heat stress. **Animal**, v. 12, n. s2, p. S431–S444, 2018.

SHAH, S. H. H. et al. Prosumption: bibliometric analysis using HistCite and VOSviewer. **Kybernetes**, v. 49, n. 3, p. 1020–1045, 2020.

SILVA, R. G. DA; MAIA, A. S. C. **Heat Exchange Between Animals and Environment: Mammals and Birds**. [s.l: s.n.].

TYPE, A. et al. Heat stress on microbiota composition, barrier integrity, and nutrient transport in gut, production performance, and its amelioration in farm animals. **Journal of Animal Science and Technology**, v. 63, n. 2, p. 211–247, 2021.

VIEIRA, R. et al. Path and logistic analysis for heat tolerance in adapted breeds of cattle in Brazil. **Livestock Science**, v. 258, n. November 2021, p. 104888, 2022.

WEARY, D. M.; ROBBINS, J. A. Understanding the multiple conceptions of animal welfare. **Animal Welfare**, v. 28, n. 1, p. 33–40, 2019.

YADAV, B. et al. Effect of simulated heat stress on digestibility, methane emission and metabolic adaptability in crossbred cattle. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 29, n. 11, p. 1585–1592, 2016.

YAN, G. et al. The effects of cow-related factors on rectal temperature, respiration rate, and temperature-humidity index thresholds for lactating cows exposed to heat stress.

**Journal of Thermal Biology**, v. 100, n. June, p. 103041, 2021.

YU, Y. et al. A bibliometric analysis using VOSviewer of publications on COVID-19.

**Annals of Translational Medicine**, v. 8, n. 13, p. 816–816, 2020.

ZHANG, M. et al. Impacts of heat stress on meat quality and strategies for amelioration : a review. **International Journal of Biometeorology**, 2020.