

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ZOOTECNIA

MAGDA MARÍLIA DA SILVA

**EFEITO DO ESTRESSE TÉRMICO POR CALOR NA SUINOCULTURA: REVISÃO
DE LITERATURA**

RIO LARGO- AL

2023

MAGDA MARÍLIA DA SILVA

**EFEITO DO ESTRESSE TÉRMICO POR CALOR NA SUINOCULTURA: REVISÃO
DE LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da
Universidade Federal de Alagoas, como parte do
requisito para obtenção do título de bacharel em
Zootecnia.

Orientadora: Prof. Dra. Sandra Roseli Valerio Lana

RIO LARGO-AL

2023

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

S586e Silva, Magda Marília da

Efeito do estresse térmico por calor na suinocultura: revisão de literatura . / Magda Marília da Silva - 2023.
32 f.; il.

Monografia de Graduação em Zootecnia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias. Rio Largo, 2023.

Orientação: Dra. Sandra Roseli Valerio Lana

Inclui bibliografia

1. Suínos. 2. Carne - qualidade 3. Altas temperaturas. I. Título

CDU: 636.4

FOLHA DE APROVAÇÃO

AUTORA: MAGDA MARÍLIA DA SILVA

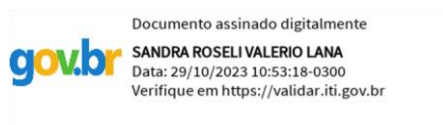
EFEITO DO ESTRESSE TÉRMICO POR CALOR NA SUINOCULTURA: REVISÃO DE LITERATURA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, como parte do requisito para obtenção do título de bacharel em Zootecnia.

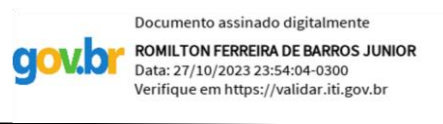
Orientadora: Prof. Dra. Sandra Roseli Valerio Lana

Aprovada em 13 de outubro de 2023.

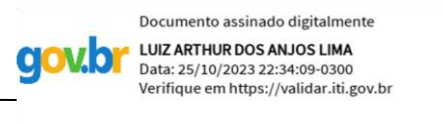
Banca examinadora:



Prof. Dra. Sandra Roseli Valerio Lana (Orientadora – CECA/UFAL)



Prof. Dr. Romilton Ferreira de Barros Júnior
(Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN)



MSc. Luiz Arthur dos Anjos Lima (Universidade Federal da Paraíba - UFPB)

Dedico este trabalho aos meus pais, Maria José, minha mãe, que foi e ainda é a minha maior incentivadora, mulher de fé, guerreira e batalhadora e ao meu eterno e querido pai, Paulo Sérgio, um homem bom, justo e trabalhador. Dedico também ao meu mais novo, puro e verdadeiro amor, meu filho, Raul Pedro, por ele toda dedicação e desempenho.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, pela minha vida e por fazer com que meus objetivos fossem alcançados durante toda a minha trajetória acadêmica.

Gratidão a minha mãe, por todo o esforço que fez durante todos os anos de graduação para que sua filha mais nova realizasse o seu sonho de entrar e permanecer em uma faculdade federal, gratidão por cada costura e reforma de roupa realizada, para eu poder ter a oportunidade de sair de casa toda manhã, pegar o ônibus e ir estudar, e por agora estar concluindo esse sonho. A ela devo tudo o que eu sou, meu exemplo de mulher, mãe, pai, guerreira e batalhadora. Aos meus irmãos Mariana e Rodolfo por todo apoio e palavra de ânimo e incentivo.

Em especial, ao meu marido, companheiro e pai do meu filho, Sandro, por estar presente e me ajudando um pouco todos os dias quando chega do seu trabalho, sem ele eu não estaria escrevendo isso.

Aos meus amigos de curso, o meu eterno obrigada. Gratidão eterna para os meus amigos especiais, irmãos que a graduação me apresentou, tornando os meus dias mais leves, fáceis e alegres, dividindo angustias, alegrias e tristezas por notas ruins e boas, apresentações boas e horríveis. Obrigada Neuriane (Thaty), Vitória, Karine, Lailson, Wictor e o nosso eterno Lula (Luís Paulo), vocês foram e são essenciais na minha vida.

Obrigada a todos os professores por todo ensinamento e conhecimento passado. Um agradecimento especial para minha professora e orientadora, Sandra Roseli, por ter aceitado o convite de me auxiliar na elaboração deste trabalho de conclusão de curso.

SILVA, Magda Marília da. **Efeito do estresse térmico por calor na suinocultura: revisão de literatura.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) – Centro de Engenharias Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2023.

RESUMO: A criação de suínos em áreas de clima tropical é frequentemente exposta a altas temperaturas. O aumento da temperatura ambiente acima da zona de termoneutralidade provoca mudanças comportamentais que alteram o consumo de ração e consequentemente ocorre uma redução no desempenho. Com isso, o objetivo dessa revisão de literatura é realizar um levantamento bibliográfico dos efeitos do estresse térmico por calor na suinocultura. O estresse térmico causado pelas altas temperaturas ocasiona problemas reprodutivos (como baixas taxas de parto, danos ao espermatozoides e ovócito), modificações metabólicas, alterações na composição da carcaça, função de barreira intestinal e redução no desempenho produtivo sendo então responsável por perdas de milhões de dólares para suinocultores do mundo todo. No entanto, afim de minimizar os efeitos do estresse por calor algumas estratégias ambientais e nutricionais podem ser utilizadas a fim de melhorar a saúde e o desempenho. Com isso, o estresse térmico ocasionado pelo o aumento de temperatura causa o comprometimento de diversos parâmetros na suinocultura, mas com a utilização de estratégias de manejo seus efeitos podem ser minimizados.

Palavras-chave: altas temperaturas; improdutividade; qualidade da carne; suínos

SILVA, Magda Marília da. **Effect of thermal heat stress on swine farming: literature review.** Completion of course work (Graduation in Animal Science) – Center for Agricultural Sciences Engineering, Federal University of Alagoas, Rio Largo, 2023.

ABSTRACT: Pig farming in areas with a tropical climate is often exposed to high temperatures. The increase in ambient temperature above the thermoneutrality zone causes behavioral changes that alter feed consumption and consequently a reduction in performance. With this, the objective was to carry out a bibliographical survey of the effects of heat stress in pig farming. Thermal stress caused by high environmental temperatures causes reproductive problems (such as low birth rates, damage to sperm and oocytes), metabolic changes, changes in carcass composition, intestinal barrier function and reduction in productive performance, thus being responsible for economic losses. For pig farmers around the world. However, in order to minimize the effects of heat stress, some environmental and nutritional strategies can be used to improve health and performance. As a result, the thermal stress caused by the increase in temperature causes the compromise of several parameters in pig farming, but with the use of management strategies, its effects can be minimized.

Key words: high temperatures; unproductivity; meat quality, pigs

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1 ESTRESSE TÉRMICO POR CALOR.....	10
2.2 CONSEQUÊNCIAS METABÓLICAS DO ESTRESSE TÉRMICO POR CALOR	13
2.3 ESTRESSE TÉRMICO E BARREIRA INTESTINAL	14
2.4 IMPACTO DAS ALTAS TEMPERATURAS NO CONSUMO DE RAÇÃO	15
2.5 IMPACTO DO ESTRESSE TÉRMICO EM PORCAS E LEITÕES	16
2.6 EFEITOS DO ESTRESSE TÉRMICO NA FASE DE CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO.....	18
2.7 EFEITO DO ESTRESSE TÉRMICO NA QUALIDADE DA CARNE.....	18
2.8 ESTRATÉGIAS PARA MITIGAR OS EFEITOS DO ESTRESSE TÉRMICO POR CALOR	19
2.8.1 INTERVENÇÕES NUTRICIONAIS	19
2.8.2 MODIFICAÇÕES AMBIENTAIS	20
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
4. REFERÊNCIAS.....	25

1. INTRODUÇÃO

A suinocultura é uma das atividades relevantes na agropecuária brasileira, em 2022 a produção foi de 4,98 milhões de toneladas, sendo exportado cerca de 22,48% desse total. O consumo per capita de carne suína passou de 14,9 (Kg/hab) em 2012 para 18 (Kg/hab) em 2022, demonstrando que a atividade deve aumentar sua produção consideravelmente nos próximos anos afim de atender a demanda da população (ABPA, 2023).

No entanto, os suínos são animais sensíveis a altas temperaturas e, em países como o Brasil, que possuem um clima tropical com altas temperaturas, esses animais acabam sofrendo estresse térmico, o que afeta negativamente a produtividade e a saúde do rebanho (CROSS et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2019). Afim de minimizar os danos causados os suínos promovem algumas mudanças no seu comportamento, na fisiologia e no metabolismo. Essas modificações comprometem adversamente a produtividade, uma vez que os nutrientes serão desviados para manutenção da homeostase (CARABANO et al., 2019).

Somente na indústria pecuária dos EUA, as perdas econômicas anuais da suinocultura associadas ao estresse térmico provocado pelas altas temperaturas são estimadas em cerca de US\$ 1 bilhão (POLLMAN, 2010; KEY E SNEERINGER, 2014). Particularmente, a perda de receitas na indústria suína resulta de taxas de crescimento reduzidas e alterações na composição da carcaça, diminuição do desempenho, e aumento da mortalidade (BAUMGARD E RHOADS, 2013; ROSS et al., 2015). As consequências reprodutivas comprometidas incluem redução da fertilidade e diminuição dos parâmetros de parto (como, redução do tamanho da leitegada, diminuição do peso ao nascer/desmame) (ROSS et al., 2015).

Algumas estratégias podem ser utilizadas para minimizar os efeitos adversos impostos pelo clima à suinocultura, modificações ambientais (por exemplo, uso de sistemas de climatização e redução da densidade populacional) e estratégias alimentares (uso de aminoácidos, dietas com redução de proteína, minerais, vitaminas etc.) (SILVA et al., 2020).

Nesse contexto, o objetivo dessa revisão de literatura é realizar um levantamento bibliográfico dos efeitos do estresse térmico por calor na suinocultura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ESTRESSE TÉRMICO POR CALOR

Os suínos são animais homeotérmicos, ou seja, conseguem manter sua temperatura corporal dentro de uma estreita faixa mesmo sob condições ambientais variáveis, isso é devido aos ajustes comportamentais, metabólicos e fisiológicos (RENAUDEAU E DOURMAD, 2021).

O estresse térmico pode ser caracterizado como uma resposta desencadeada pelo organismo quando a homeostase está em risco, sendo esta provocada por um desequilíbrio entre a produção de calor e a perda de calor. O estresse térmico pode ser classificado em: estresse térmico agudo quando a atuação do agente estressor é por um período de tempo curto ou imediato, enquanto que, o estresse térmico crônico a atuação do agente estressor é por um período mais prolongado (COLLIER E GEBREMEDHIN, 2015; COLLIER et al., 2019).

Uma estratégia que os animais possuem para manter sua temperatura corporal é a termorregulação, que pode ser definido como um mecanismo entre a produção e perda de calor afim de conservar a temperatura corporal (RENAUDEU et al., 2011).

Em resposta ao estresse térmico por calor há a ativação de dois sistemas: 1. Sistema nervoso central e 2. Sistema nervoso periférico. Inicialmente, qualquer variação de temperatura acima ou abaixo da zona de conforto térmico serão detectadas pelos termorreceptores presentes na pele, o sinal será transmitido via potencial de ação por fibras nervosas aferentes para o sistema nervoso central (SNC), no hipotálamo irá ocorrer a decodificação da informação e ativação do centro da termólise, onde as fibras nervosas eferentes irão transmitir a resposta para os órgãos efetores (COLLIER E COLLIER, 2012; COLLIER et al., 2019).

Como resultado, também ocorre a ativação do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal (HPA), através do hipotálamo, onde ocorrerá a secreção do hormônio liberador de corticotrofina (CRH) estimulando a liberação de hormônios adrenocorticotróficos (ACTH), que no córtex da adrenal serão secretados os glicocorticoides, há também aumento da respiração e frequência cardíaca, aumento da temperatura corporal e redistribuição do fluxo sanguíneo para a periferia (KUO, HARRIS E WANG, 2013; SCHIAFFINO et al., 2013; GONZALEZ-RIVAS, et al., 2020).

No entanto, os suínos possuem uma alta taxa metabólica devido à alta deposição proteica, além de uma espessa camada de gordura subcutânea e uma camada de queratina na epiderme fazendo com que tenham dificuldades de se termorregular (MOREIRA et al., 2021).

Desse modo, os animais homeotérmicos possuem formas de dissipação de calor pelos mecanismos: 1. Latentes- evaporação cutânea que ocorre através das glândulas sudoríparas, porém essa maneira é ineficiente em suínos e evaporação respiratória em que ocorre dissipação da água pelo trato respiratório; 2. Sensíveis- condução onde os objetos em contato trocam calor entre si, convecção ocorre quando um calor de um fluido, de temperatura diferente, é difundido pelo animal e radiação que é a emissão de calor por ondas eletromagnéticas (COLLIER E COLLIER, 2012).

Quando o suíno está em um ambiente com a temperatura elevada, as formas latentes de troca de calor são acionadas. Essas formas são de fundamental importância, uma vez que as formas sensíveis deixam de ser efetivadas no balanço homeotérmico à medida que a temperatura ambiente se aproxima da corporal.

Mount (1974) propôs um gráfico onde relaciona o balanço entre produção de calor, troca sensível, perda latente de calor de acordo com as variações de temperatura ambiente (figura 1). O ponto C é caracterizada por ser a zona de conforto térmico, onde os mecanismos termorregulatórios não são acionados, não há gasto de energia e o animal pode expressar seu máximo desempenho, vale ressaltar que essa faixa depende de alguns fatores como espécie, idade e estado fisiológico (tabela 1).

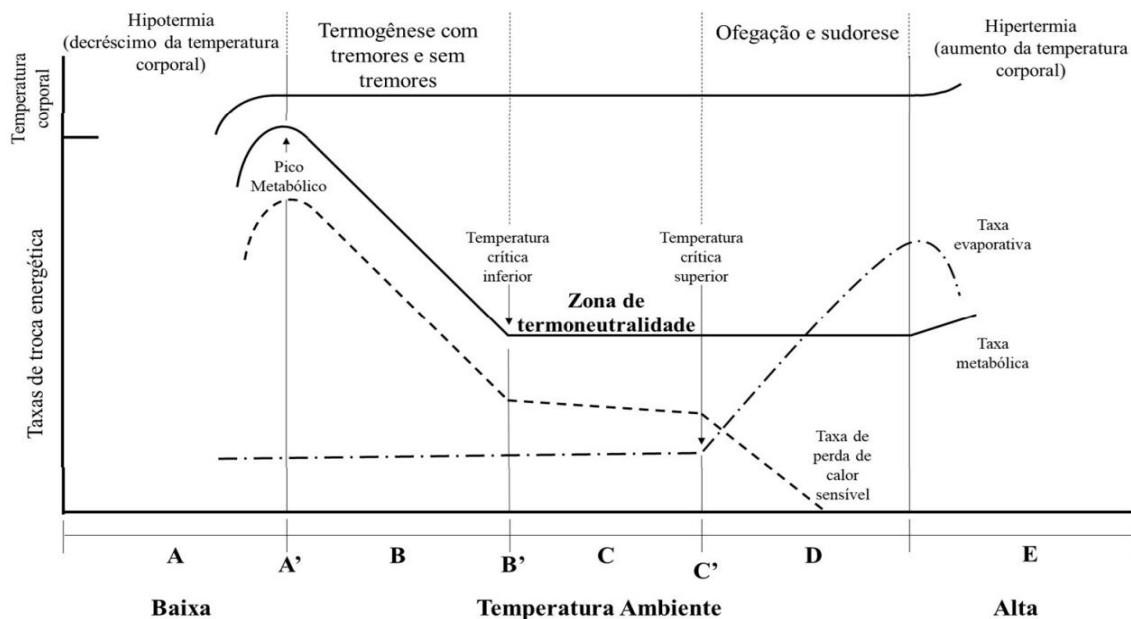


Figura 1. Gráfico do perfil termorregulador da temperatura corpórea adaptado de Mount (1974).

A zona de conforto térmico é delimitada por duas extremidades a B' e o ponto C' zona de temperatura crítica superior, nessa área pequena ajustes termorregulatórios mantêm a temperatura constante e há baixas perdas energéticas (MOUNT, 1974).

O ponto D é caracterizado como zona de estresse por calor, onde os mecanismos sensíveis são ativados e a taxa metabólica reduzida. A zona E é área crítica onde o animal não consegue manter sua temperatura, levando a um quadro de hipertermia letal (MOUNT, 1974).

Tabela 1. Recomendações térmicas para diferentes categorias de suínos.

Fase	Zona de termoneutralidade	TCS
Porca em lactação	15 a 26°C	32°C
Pré-desmame (leitegada)	32°C	-
Creche (15-35 Kg)	18 a 26°C	35°C
Crescimento (35-70 Kg)	15 a 25°C	35°C
Terminação (70-120Kg)	10 a 25°C	35°C
Reprodutores (> 100Kg)	10 a 25°C	32°C

Temperatura critica superior; Fonte: Adaptado de *Federation of Animal Science Societies* (2010)

2.2 CONSEQUÊNCIAS METABÓLICAS DO ESTRESSE TÉRMICO POR CALOR

O estresse oxidativo refere-se a um desequilíbrio entre a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) e atuação dos sistemas de defesa antioxidante, podendo levar a danos celulares e alterações das funções fisiológicas (PIZZINO et al., et al., 2017). Embora a produção de EROs seja natural do metabolismo celular e desempenhe um papel importante nas vias de sinalização e defesa do hospedeiro contra patógenos, as altas temperaturas fazem com que haja uma sobrecarga do metabolismo energético celular mitocondrial e aumento do consumo de oxigênio favorecendo a uma maior formação de EROs (DUNN et al., 2015; DICKSON E ZHOU, 2020; HASSAN et al., 2020).

O estresse oxidativo pode impactar significativamente no seu bem-estar de suínos (PONNAMPALAM et al., 2022; ZHONG et al., 2023). Também pode causar danos aos tecidos, alteração na função imunológica e contribuir para o desenvolvimento de doenças (COLITTI et al., 2019). Além disso, o desequilíbrio no status redox podem afetar o comportamento e a reprodução (PINTUS E ROS-SANTAELLA, 2021).

Os EROs podem reagir com componentes celulares, como proteínas, lipídios e DNA, levando a comprometimento e disfunção dos mesmos (CHECA E ARAN, 2020). Isso pode afetar a função dos órgãos e levar a doenças crônicas, como doenças do fígado, glândulas mamárias e pulmões, bem como insuficiência renal em suínos (LI et al., 2015; TANG et al., 2018; LI et al., 2023).

O desequilíbrio no status redox também tem efeito prejudicial na função imunológica, tornando os animais mais vulneráveis a infecções e doenças. Embora os glóbulos brancos, incluindo neutrófilos e macrófagos, gerem EROs durante a fagocitose, a produção excessiva de radicais livres pode causar danos a estas células imunes, diminuindo assim a sua capacidade de identificar e combater patógenos (SHASTAK, GORDILLO E PELLETIER, 2023).

O estresse térmico por calor também está associado a um aumento na expressão de proteínas de choque térmico, essas proteínas são um grupo de seis famílias com base na sua funcionalidade (HSP 15-30 kDa, HSP40, HSP70, HSP60, HSP90, HSP100), são proteínas que se ligam e estabilizam outras proteínas instáveis, facilitando sua montagem correta (YONG et al., 2022). Entre as HSP, a HSP70 são as proteínas mais abundantes e altamente conservadas,

elas desempenham papéis importantes na modulação do sistema imunológico, garantindo o dobramento adequado das proteínas e a regulação da apoptose celular (HASSAN et al., 2019).

A glândula tireóide está relacionada à termogênese e o estresse térmico normalmente induz reduções na concentração plasmática de triiodotironina (T3) e tetraiodotironina (T4). Esta resposta é considerada um mecanismo adaptativo para evitar carga excessiva de calor, reduzindo a produção metabólica de calor, reduzindo as necessidades energéticas de manutenção e aumentando a deposição de gordura, reduzindo a lipólise (GONZALEZ-RIVAS, et al., 2020).

Pathak et al. (2018), avaliando biomarcadores de stress térmico relacionados com a estação do ano de suínos de raça pura (Hampshire) e mestiços (50% Hampshire × 50% local), observaram que os níveis de T3 e T4 tiveram uma menor concentração e houve maior concentração de cortisol em ambos os grupos genéticos durante o verão.

Suínos sob condições de estresse térmico apresentam um aumento na secreção basal de insulina, alterando a mobilização do tecido adiposo e aumentando a lipogênese (SANZ FERNANDEZ et al., 2015). A redução da mobilização do tecido adiposo é vista como um mecanismo evolutivo para minimizar a termogênese, a fim de reduzir a produção de calor metabólico, pois a lipólise gera mais calor metabólico (aproximadamente 39,3 kJ/g) do que carboidratos (aproximadamente 15,6 kJ/g) e proteínas (aproximadamente 16,7 kJ /g) do metabolismo (MIN et al., 2017).

A redução da mobilização do tecido adiposo também é resultado da redução na secreção dos hormônios tireoidianos porque os hormônios tireoidianos ativam a lipólise e a utilização de ácidos graxos não esterificados (RIZOS, ELISAF E LIBEROPOULOS, 2011).

2.3 ESTRESSE TÉRMICO E BARREIRA INTESTINAL

O intestino é o principal órgão de digestão e absorção de nutrientes, a camada de muco presente serve como uma barreira de defesa física, química e imunológica contra microrganismos patogênicos (TANG et al., 2016; LI et al., 2018). Durante o estresse por calor, o sangue é redistribuído para a periferia para favorecer a dissipação de calor o que pode ter

efeitos negativos na função da barreira intestinal (LIU et al., 2016; COTTRELL et al., 2020; LE et al., 2020; LIU et al., 2022).

O estresse oxidativo causado pelas elevadas temperaturas também influenciam a função de barreira, por enfraquecem as múltiplas mucinas e as proteínas das junções (tight junction), além de diminuir a altura das vilosidades e aumentar da profundidade das criptas (CAO et al., 2022). Liu et al. (2016), relatam uma menor concentração de glutathione peroxidase no intestino delgado de suínos expostos ao estresse térmico por calor cíclico.

As endotoxinas bacterianas e as proteínas antigênicas tendem a romper uma barreira mucosa comprometida, provocando a liberação de citocinas pró-inflamatórias, incluindo interleucina-1 β , fator de necrose tumoral- α (TNF- α) e IFN- γ (LEE E KANG, 2017; TANG et al., 2022). Gabler et al. (2018), observaram que houve um aumento de 50% da endotoxina circulante em suínos após a exposição ao estresse térmico por calor cíclico, aliado a esse fato a redução no consumo de ração.

Uma vez que o estresse é percebido, ocorre a ativação do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal, levando secreção do fator de liberação de corticotrofina (CRH) e à subsequente produção e liberação do hormônio adrenocorticotrofina, os receptores de CRH estão presentes no trato gastrointestinal, onde interagem com células imunológicas, o eixo CRH possuem mediadores de sinalização urocortina e receptores acoplados à proteína, esses estão ligados a alterações intestinais induzidas por estresse, incluindo inflamação, motilidade e permeabilidade, bem como alterações na secreção e absorção de íons, água e muco (MAYORGA et al., 2020).

2.4 IMPACTO DAS ALTAS TEMPERATURAS NO CONSUMO DE RAÇÃO

Umas das principais consequências do estresse térmico em animais de produção é a redução no consumo de ração, que é um mecanismo natural, usado por animais sob condições de estresse térmico por calor afim de diminuir a produção de calor metabólico (GONZALEZ-RIVAS, et al., 2020).

A temperatura ambiente está relacionada à regulação do consumo voluntário de ração (CVR), desencadeando mudanças no comportamento alimentar. A redução do CVR é uma resposta adaptativa dos suínos como tentativa de diminuir a produção metabólica de calor inerente aos processos digestivos e metabólicos (DE OLIVEIRA, et al., 2023a). De Oliveira et al. (2023b), relatam que suínos expostos a altas temperaturas em condições de estresse térmico

constante de 35°C reduziram o CVR em 7,3% e até 50% sob estresse térmico constante (SHI et al., 2016).

Suínos em crescimento tiveram um consumo de ração reduzido em temperaturas acima de 23,9°C e o estresse térmico crônico induz maior redução no consumo de ração do que o estresse térmico agudo, 64 vs 36%, respectivamente (KOUBA et al., 2001; QU E AJUWON, 2018).

Renaudeau et al. (2011) relatam uma relação entre a temperatura, o consumo de ração e o ganho de peso, o aumento de um grau na temperatura ambiente entre 24 e 30°C causa uma redução do consumo de ração de 49 g/d, 57 g/d e 64 g/d e perda de ganho de peso de 26 g/d, 28 g/d e 29 g/d em suínos de 50, 60 e 70 Kg de peso vivo, respectivamente.

2.5 IMPACTO DO ESTRESSE TÉRMICO EM PORCAS E LEITÕES

A grande maioria da indústria suína depende da inseminação artificial, as porcas que são inseminadas no verão têm uma considerável redução na taxa de partos, influenciando assim a economia através das implicações negativas na reprodução feminina (LIU et al., 2022).

O estresse térmico diminui a fertilidade em porcas e marrãs, principalmente por atrasar o início da puberdade, prolongar o intervalo desmame- cio e diminuir as taxas de gravidez e parto. Um possível mecanismo pelo qual o isso ocorre é devido a alteração da produção de gametas e o desenvolvimento embrionário (ROSS et al., 2015).

Por exemplo, a exposição de marrãs ao estresse térmico por calor durante o início da gestação (8-16 dias) resultou em taxas de concepção reduzidas e diminuição da viabilidade embrionária em comparação com marrãs mantidas em condições termoneutras (ROSS et al., 2017). Da mesma forma, marrãs expostas ao estresse térmico por calor durante o final da gestação (102-110 dias) têm um número reduzido de leitões nascidos vivos e diminuem o peso das leitegadas ao nascer (BERTOLDO et al., 2009).

O aumento da insulina circulante pode influenciar negativamente a função ovariana. Um possível mecanismo pelo qual a insulina afeta o desenvolvimento do oócito é pela ativação da via da fosfatidilinositol-3-quinase (PI3K) (ADHIKARI E LIU, 2009). Há evidências indicam que a sinalização PI3K desempenha um papel fundamental em diferentes processos celulares

ovarianos, incluindo recrutamento de oócitos, sobrevivência do corpo lúteo e maturação de oócitos, desse modo a desregulação nesta via pode influenciar diretamente a função ovariana e contribuir para a infertilidade (MAKKER, GOEL E MAHDI, 2014).

A integridade intestinal alterada durante o estresse térmico e a translocação de lipopolissacarídeos (LPS) para a circulação sistêmica podem representar um meio pelo qual afeta negativamente a função ovariana. Porcas com infecção uterina aumentaram os níveis de LPS no fluido folicular ao redor do oócito em maturação, sugerindo que o LPS pode atingir o ovário e exercer efeitos negativos localizados, provavelmente através da circulação sistêmica (HERATH et al., 2007).

Além disso o LPS altera o eixo hipotálamo-hipófise-ovário através da redução da secreção do hormônio liberador de gonadotrofinas. Consequentemente, o LPS diminui o 17β -estradiol durante a fase folicular do ciclo estral, atenuando a liberação subsequente do hormônio luteinizante e do hormônio folículo estimulante, o que pode posteriormente resultar em atraso na ovulação (BIDNE et al., 2019; ADUR et al., 2022).

Os efeitos prejudiciais vão além, a exposição materna ao estresse por calor tem consequências negativas para a leitegada. Particularmente, fetos de porcas expostos ao calor durante a primeira metade da gestação aumentaram a deposição de gordura e aumentaram a insulina circulante durante o crescimento (BODDICKER et al., 2014). Johnson et al. (2015), observaram que os fetos de porcas expostas ao calor in útero durante toda a duração da gestação apresentaram aumento do acúmulo de tecido adiposo durante a fase final inicial do crescimento, em relação aos leitões de porcas que foram criadas em zonas termoneutras.

A exposição de porcas a uma variedade de estressores durante a gravidez (por exemplo, estresse social, restrição, manejo e temperatura) influenciou a programação do desenvolvimento da prole e alterando seu crescimento, função imunológica e o comportamento (OTTEN, KANITZ E TUCHSCHERER, 2015).

2.6 EFEITOS DO ESTRESSE TÉRMICO NA FASE DE CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO

As altas temperaturas afetam os machos suínos principalmente no eixo reprodutivo, o testículo possui uma temperatura entre 2 a 5°C abaixo da temperatura corporal, desse modo o aumento da temperatura irá afetar a espermatogênese. A espermatogênese é dividida em cinco fases: células espermatogônias, espermatócitos I, espermatócitos II, espermatócitos e espermatozoides, sendo as células mais sensíveis os espermatócitos I e II, apesar do estresse por calor sofrido as células seguem em transformação, porém o espermatozoide defeituoso só será identificado semanas depois (PARRISH et al., 2017).

Penã et al. (2021), avaliando a suscetibilidade de espermatozoides suínos ao estresse térmico observaram houve danos do DNA, redução da motilidade tornando-os completamente imóveis ou mortos, além disso houve um efeito no volume e concentração do ejaculado.

A redução da taxa de crescimento de suínos na fase de engorda durante a estação quente é um problema comum na indústria suína em todo o mundo. Estudos realizado na Austrália sugere que o consumo de ração e a taxa de crescimento de suínos na fase de engorda são 8% mais baixos no verão do que nas estações frias (LEWIS E BUNTER, 2011).

Oliveira et al. (2019), relatam que a cada aumento no grau de temperatura ambiente há uma redução no consumo de ração de suínos em crescimento em torno de 89 a 109g, além disso uma modificação na composição da carcaça devido as enzimas lipogênicas serem menos ativas fazendo com que as carcaças sejam mais magras.

2.7 EFEITO DO ESTRESSE TÉRMICO NA QUALIDADE DA CARNE

O estresse térmico reduz a ingestão de alimento em suínos e consequentemente o metabolismo, afetando o desempenho reprodutivo e a qualidade da carcaça (BAUMGARD E RHOADS, 2013; PEARCE et al., 2013).

O efeito das altas temperaturas ambientes na qualidade da carne suína tem uma estreita relação com a natureza crônica ou aguda do estresse térmico, a genética animal e o estágio produtivo. Apenas 2 horas de estresse térmico têm efeitos na proteína muscular, prejudicando a estrutura, função, crescimento e qualidade do produto (CRUZEN et al., 2017).

As condições de verão têm sido associadas a perdas, pois ocorre redução do peso vivo (-5 kg), da carcaça (-3 kg) e aumento da carne PSE (> 32%) em suínos quando comparado com a produção no inverno (ČOBANOVIĆ et al., 2016). Para minimizar esse fator, os suínos podem ser abatidos o mais rápido afim de reduzir a prevalência de carne PSE. Além disso, estudos relataram uma perda de peso de carcaça de 4,6% após 72 horas de privação de ração e água antes do abate, são maiores durante dias quentes (GREGORY et al., 2010).

Rinaldo e Mourot (2001), relataram que suínos Large White criados entre 35 e 94 kg em condições quentes (27,9 °C e 81% de umidade relativa) tiveram consumo de ração reduzido (-13%) e ganho de peso diário (-12%), levando a um maior pHu (pH último, 24 horas após o abate) do *longissimus dorsi* (5,71 vs 5,52), menor perda por gotejamento (20,7 vs 21,4%) e carcaças mais magras do que aquelas criadas em condições termoneutras (20 °C e 75% UR). O mecanismo que explica o pHu elevado é devido a uma redução no consumo de ração que reduz o armazenamento de glicogênio muscular, reduzindo o potencial glicolítico no abate e, portanto, elevando o pHu muscular (SPENCER et al., 2005).

O músculo *Longissimus dorsi* de suínos machos castrados submetidos a estresse térmico constante (30 °C) durante 3 semanas tiveram um aumento na concentração de malonaldeído (MDA), catalase (CAT) e superóxido dismutase (SOD), em comparação a suínos mantidos em condições termoneutras (22°C) (YANG et al., 2014). O MDA é um marcador de peroxidação lipídica mitocondrial e muscular, CAT e SOD são parâmetros antioxidantes. O MDA é geralmente utilizado como biomarcador para danos induzidos por radicais e peroxidação lipídica endógena. A SOD catalisa a conversão de superóxido em peróxido de hidrogênio e funciona em conjunto com CAT para converter peróxido de hidrogênio em água e oxigênio molecular (Finkel e Holbrook, 2000).

2.8 ESTRATÉGIAS PARA MITIGAR OS EFEITOS DO ESTRESSE TÉRMICO POR CALOR

2.8.1 INTERVENÇÕES NUTRICIONAIS

Alterar estrategicamente a dieta é uma abordagem prática e acessível para ajudar a aliviar os efeitos negativos do estresse por calor e melhorar a produtividade animal. As práticas comuns de manejo dietético envolvem dietas balanceadas com potencial para aumentar a densidade de nutrientes e reduzir o efeito térmico da alimentação, o que normalmente é conseguido aumentando a gordura dietética e reduzindo a proteína bruta (WANG et al., 2023).

A gordura dietética é densa em energia e tem um baixo incremento de calor em comparação com outros nutrientes o que poderia compensar a redução de energia consumida durante o estresse térmico. Pelo contrário, digerir/absorver proteínas dietéticas e as fibras geram mais calor metabólico; portanto, recomenda-se equilibrar com precisão as dietas para as necessidades de proteínas e aminoácidos e reduzir a inclusão de fibras alimentares durante os meses quentes de verão (PATIENCE, ROSSONI-SERÃO E GUTIÉRREZ, 2015).

O estresse térmico por calor causa danos intestinais levando também a alterações imunológicas, portanto, as intervenções dietéticas destinadas a reduzir ou minimizar a hipermeabilidade intestinal são importantes. A adição de minerais dietéticos (por exemplo, zinco), aminoácidos (por exemplo, glutamina, arginina, metionina etc) e antioxidantes (por exemplo, selênio, vitamina E, vitamina C) pode melhorar a integridade da barreira intestinal e reduzir o estresse oxidativo (PEARCE et al., 2015).

A utilização de selênio de levedura (0,5 ppm) e vitamina E (100 UI/kg) mitigou com a função de barreira prejudicada pelo estresse térmico agudo em suínos na fase de crescimento (LIU et al., 2016). A suplementação de canela melhorou a função da barreira intestinal em suínos de crescimento sob condições de estresse térmico (COTTRELL et al., 2020).

A dieta suplementada com betaína (1 g/kg), bem como alcalóides isoquinolina (150 mg/kg), melhorou a permeabilidade do cólon em suínos em condições de estresse por calor (LE et al., 2020). Um estudo recente mostrou que a suplementação com superóxido dismutase recombinante (rSOD, 50 UI/dia) ou uma combinação de selênio (0,3 ppm) e rSOD (50 UI/dia) melhoraram a inflamação induzida por estresse térmico por calor, sendo demonstrado por uma menor concentração de adiponectina circulante, interleucina-1 β e interleucina-6 LE et al., 2019).

2.8.2 MODIFICAÇÕES AMBIENTAIS

Quando o assunto é ambiência, é preciso levar em conta quatro elementos climáticos: a radiação, corrente de ar, temperatura e umidade do ar e se não forem monitorados, podem impactar diretamente na saúde e bem-estar animal (BELHADJ SLIMEN et al., 2016).

Diferentes práticas de manejo são empregadas afim de minimizar os efeitos do estresse por calor, por exemplo, redução da densidade populacional, estratégias nutricionais e modificação do ambiente com total controle da ambiência, sistemas de ventilação, cortinas com sistema de automação, monitoramento por sensores e pisos com aquecimento.

Normalmente, as modificações ambientais podem ser implementadas para: 1. Prevenir ou reduzir o grau de estresse térmico ao qual os animais estão expostos ou 2. Melhorar os mecanismos de troca de calor entre o animal e o ambiente. Assim, ao projetar instalações com formato e orientação das instalações, características físicas dos materiais de construção ou sistemas de ventilação devem ser levados em consideração para reduzir as perdas de produção (MAYORGA et al., 2019).

Em relação à localização, é preferível a escolha por lugares que permitam aproveitar as vantagens da circulação natural do ar, como por exemplo locais que possuam topografia plana ou levemente ondulada, (FÁVERO et al., 2003; BONETT & MONTICELLI, 2014). O espaçamento entre as instalações é um fator muito importante a ser considerado e deve ser suficiente para permitir a livre circulação do ar. É recomendável trabalhar com um espaço entre o primeiro e segundo galpão de dez vezes a altura do primeiro galpão, e um espaçamento entre o segundo e terceiro galpão de 20 a 25 vezes a altura do primeiro galpão (Figura 2).

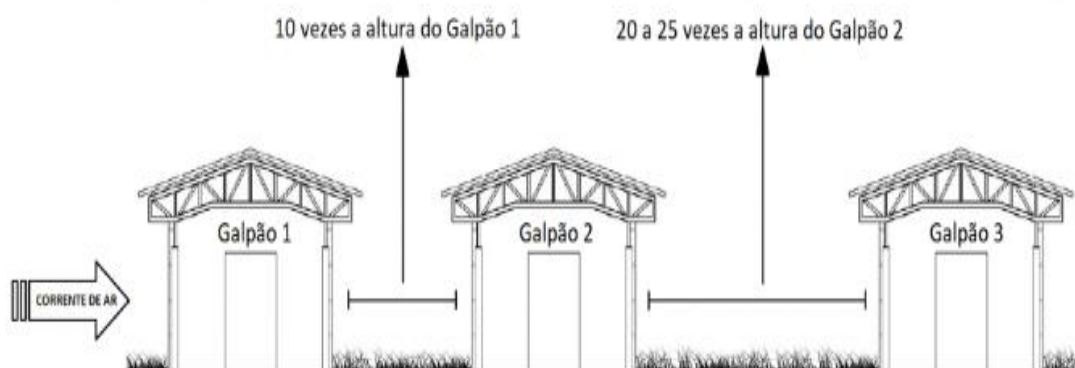


Figura 2. Espaçamento entre galpões

A orientação solar é outro ponto que possui grande influência na temperatura ambiental interna. Avaliar o trajeto do sol e planejar a construção de forma com que o sol siga o eixo longitudinal dos barracões, no sentido Leste-Oeste. Dessa forma, é possível reduzir a incidência do sol dentro das instalações ou diretamente sobre as matrizes nas horas mais quentes do dia (Figura 3) (FÁVERO et al., 2003, BRIDI, 2007).

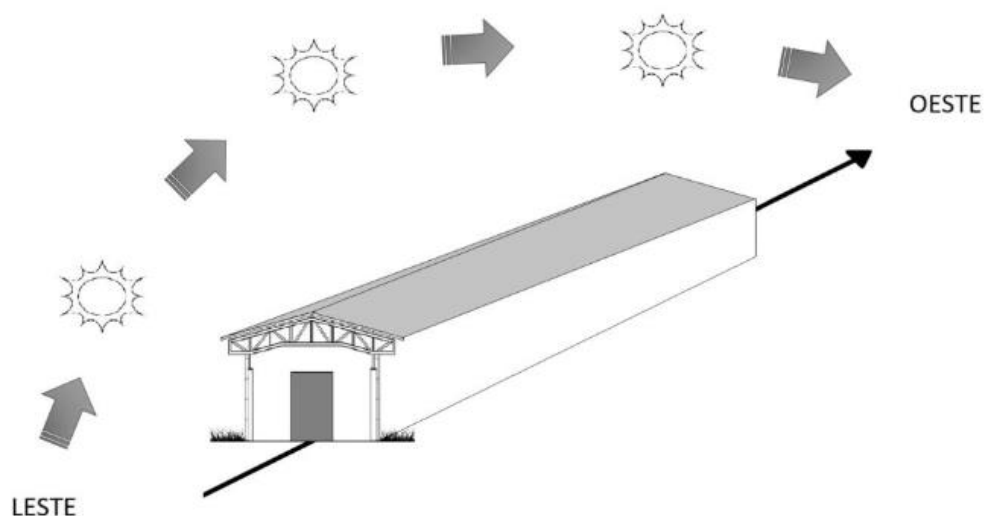


Figura 3. Orientação solar, sentido Leste-Oeste.

Com base no planejamento de produção e na topografia, é possível definir o comprimento do galpão, sendo necessário muita atenção para evitar problemas futuros com terraplanagem e distribuição de água (ABREU & ABREU, 2000). Fávero et al. (2003) sugerem, como regra geral, trabalhar de 3 a 3,5 metros.

O tipo de material (madeira, metal ou pré-fabricado de concreto) a ser utilizado na cobertura terá influência sobre a energia radiante que chegará sobre os animais, e a escolha por materiais com grande resistência térmica ajudará a minimizar esse efeito. Para melhorar a eficiência da cobertura pode ser realizado a combinação do material com uso de isolantes térmicos (poliuretano, poliestireno extrudado, lã de vidro, manta asfáltica), segunda barreira física (forro), pinturas ou lanternim (FÁVERO et al., 2003; DIAS et al., 2011).

A instalação de sensores de monitoramento da temperatura, nas distintas etapas da cadeia produtiva, como a utilização de mecanismos sensoriais desenvolvidos em plataformas virtuais, como Arduino®, são tecnologias muito importantes que tem em vista a verificação do conforto térmico (Castro Júnior, 2019). Segundo Borges et al. (2018), a instalação de um sistema automatizado de sensores em granjas de suínos, é de extrema relevância porque além de aferir a temperatura possibilita o controle do ambiente térmico, mantendo temperatura e umidade adequadas, através do acionamento de ventiladores e umidificadores.

Dentre os recursos tecnológicos empregados no controle da ambiência para amenizar as perdas relacionadas ao estresse térmico, promovendo o conforto térmico nas baias, estão as técnicas de resfriamento do ar por evaporação, como a nebulização por aspersão, Pad cooling e ventiladores com aspersores. A utilização de cortinas nas laterais dos galpões ajuda a aquecer no período do inverno, e no verão contribui para amenizar o calor do sol (Rohr et al, 2016).

Outro recurso tecnológico utilizado, na fase de maternidade, visando manter o conforto térmico necessário nesta etapa em que o animal necessita de cuidados especiais, é a instalação de piso térmico. Nesse sentido, Rohr et al. (2018) construíram um modelo de piso térmico com a utilização de jatos de água quente circulando por baixo do piso, o qual se mostrou eficiente na manutenção do conforto térmico dos animais.

Sartor et al. (2003) fez uma avaliação do modelo de resfriamento evaporativo, o qual foi observado efeito positivo sobre as condições do ambiente, conseguindo reduzir a temperatura e a umidade dentro dos galpões, proporcionando ainda uma melhora nos indicadores de conversão alimentar e ganho de peso dos suínos. Observa-se que propriedades que possuem aspersores nos telhados conseguem criar um ambiente mais favorável devido à baixa da temperatura e melhor sensação térmica dentro da instalação.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estresse térmico por calor compromete diversos de parâmetros (como desempenho, reprodução e qualidade da carne) esses possuem uma influência relevante na cadeia produtiva de suínos, tendo um impacto considerável na rentabilidade do sistema, no entanto, diversas estratégias como as intervenções nutricionais e modificações ambientais, por sua vez, se mostram efetivas para minimizar os efeitos ocasionados pelo o aumento de temperatura.

4. REFERÊNCIAS

- ABREU, P.G. de; ABREU, V.M.N. Sistema de distribuição de água na suinocultura: dimensionamento e equipamentos. Concórdia: **Embrapa Suínos e Aves**, p. 25, 2000
- ABREU, M.L.T. et al. Glutamina, nucleotídeos e plasma suíno em rações para leitões desmamados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 520-525, 2010.
- ADHIKARI, D.; LIU, K. Molecular mechanisms underlying the activation of mammalian primordial follicles. **Endocrine reviews**, v. 30, n. 5, p. 438-464, 2009.
- ADUR, Malavika K. et al. Porcine endometrial heat shock proteins are differentially influenced by pregnancy status, heat stress, and altrenogest supplementation during the peri-implantation period. **Journal of Animal Science**, v. 100, n. 7, p. skac129, 2022.
- Associação Brasileira de Proteína Animal (2023) Relatório anual da Associação Brasileira de Proteína Animal. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2023/04/Relatorio-Anual-2023.pdf> Acessado em 30 de agosto de 2023.
- BAUMGARD, Lance H.; RHOADS JR, Robert P. Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. **Annu. Rev. Anim. Biosci.**, v. 1, n. 1, p. 311-337, 2013.
- BERTOLDO, M. et al. Identification of sow-specific risk factors for late pregnancy loss during the seasonal infertility period in pigs. **Theriogenology**, v. 72, n. 3, p. 393-400, 2009.
- BIDNE, Katie L. et al. Heat stress during the luteal phase decreases luteal size but does not affect circulating progesterone in gilts. **Journal of Animal Science**, v. 97, n. 10, p. 4314-4322, 2019.
- BODDICKER, Rebecca L. et al. Gestational heat stress alters postnatal offspring body composition indices and metabolic parameters in pigs. **PLoS One**, v. 9, n. 11, p. e110859, 2014.
- BONETT, L. P.; MONTICELLI, C. J. (eds.). Suínos: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Coleção 500 perguntas 500 respostas. 3. ed. Concórdia: **Embrapa Suínos e Aves**, 2014.
- Borges, P. H. M., Mendoza, Z. M. S. H., Morais, P. H. M., & Santos, R. L. (2018). Sistema automatizado de baixo custo para produtores rurais: controle e monitoramento do ambiente

térmico na suinocultura. **Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, 4(2), 177-199.

BRIDI, A. M. Instalações e Ambiente em Produção Animal. Universidade Estadual de Londrina, 2007. Disponível em: http://www.uel.br/pessoal/ambridi/Bioclimatologia_arquivos/InstalacoeseAmbienciaemProducaoAnimal.pdf. Acessado em 17 de outubro de 2023.

CAO, S. et al. Intestinal morphology and immune profiles are altered in piglets by early-weaning. **International Immunopharmacology**, v. 105, p. 108520, 2022.

CARABAÑO, María J. et al. Selecting for heat tolerance. **Animal Frontiers**, v. 9, n. 1, p. 62-68, 2019.

CHECA, J., ARAN, J. M. Reactive oxygen species: drivers of physiological and pathological processes. **Journal of Inflammation research**, 1057-1073, 2020.

ČOBANOVIĆ, Nikola et al. The influence of pre-mortem conditions on pale, Soft and Exudative (PSE) and Dark firm and dry (DFD) pork meat. **Acta Veterinaria-Beograd**, 66 (2), 172-186, 2016.

COLITTI, M., et al. Oxidative stress and nutraceuticals in the modulation of the immune function: current knowledge in animals of veterinary interest. **Antioxidants**, 8(1), 28, 2019.

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.; COLLIER, J. L. (Ed.). **Environmental physiology of livestock**. John Wiley & Sons, 2012.

COLLIER, R. J.; GEBREMEDHIN, K. G. Thermal biology of domestic animals. **Annu. Rev. Anim. Biosci.**, v. 3, n. 1, p. 513-532, 2015.

COTTRELL, Jeremy J. et al. The effect of heat stress on respiratory alkalosis and insulin sensitivity in cinnamon supplemented pigs. **Animals**, v. 10, n. 4, p. 690, 2020.

CROSS, A. J. et al. Genome-wide association of changes in swine feeding behaviour due to heat stress. **Genetics Selection Evolution**, v. 50, p. 1-12, 2018.

CRUZEN, S. M. et al. Temporal proteomic response to acute heat stress in the porcine muscle sarcoplasm. **Journal of Animal Science**, v. 95, n. 9, p. 3961-3971, 2017.

DE OLIVEIRA, M. J. K., et al. Feeding Behavior of Finishing Pigs under Diurnal Cyclic Heat Stress. **Animals**, v. 13, n. 5, p. 908, 2023a.

DICKSON, K. B., & Zhou, J. Role of reactive oxygen species and iron in host defense against infection. **Frontiers in Bioscience-Landmark**, 25(8), 1600-1616, 2020.

DIAS, A. C. et al. Manual Brasileiro de Boas Práticas Agropecuárias na Produção de Suínos. Brasília, DF: ABCS; MAPA; Concórdia: **Embrapa Suínos e Aves**, 2011. 140 p.

DUNN, J. D., Alvarez, L. A., Zhang, X., & Soldati, T. Reactive oxygen species and mitochondria: A nexus of cellular homeostasis. **Redox biology**, v. 6, p. 472-485, 2015.

EFFECTS OF HEAT STRESS ON POSTABSORPTIVE METABOLISM AND ENERGETICS. Virginia: **Annual Review of Animal Biosciences**, v. 1, n. 1, p. 311-337, 2013.

FÁVERO, J. A. et al. Produção de Suínos. CNPSA/EMBRAPA, 2003. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/SP/suinos/index.html>. Acessado em 17 de outubro de 2023.

FUKATSU, K. et al. Nutrition and gut immunity. **Surgical Clinics of North America**, Philadelphia, n. 91, p. 755-770, 2011.

FEDERATION OF ANIMAL SCIENCE SOCIETIES (FASS). **Guide for the care and use of agricultural animals in research and teaching**. 2010.

FINKEL T, HOLBROOK NJ. **Oxidantes, estresse oxidativo e biologia do envelhecimento**. *Natureza*. 2000; 408 :239–247.

GABLER, N. K. et al. Diurnal heat stress reduces pig intestinal integrity and increases endotoxin translocation. **Translational Animal Science**, v. 2, n. 1, p. 1-10, 2018.

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

GREGORY, N. G. How climatic changes could affect meat quality. **Food research international**, v. 43, n. 7, p. 1866-1873, 2010.

HASSAN, Abdelrahim HA et al. Heat stress as an innovative approach to enhance the antioxidant production in *Pseudooceanicola* and *Bacillus* isolates. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 15076, 2020.

HASSAN, Faiz-ul et al. Prospects of HSP70 as a genetic marker for thermo-tolerance and immuno-modulation in animals under climate change scenario. **Animal Nutrition**, v. 5, n. 4, p. 340-350, 2019.

HERATH, Shan et al. Ovarian follicular cells have innate immune capabilities that modulate their endocrine function. **Reproduction**, v. 134, n. 5, p. 683-693, 2007.

JOHNSON, J. S. et al. Effects of in utero heat stress on postnatal body composition in pigs: I. Growing phase. **Journal of Animal Science**, v. 93, n. 1, p. 71-81, 2015.

KEY, N.; SNEERINGER, S. Potential effects of climate change on the productivity of US dairies. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 96, n. 4, p. 1136-1156, 2014.

KOUBA, Marilyne; HERMIER, Dominique; LE DIVIDICH, Jean. Influence of a high ambient temperature on lipid metabolism in the growing pig. **Journal of Animal Science**, v. 79, n. 1, p. 81-87, 2001.

KUO, T.; HARRIS, C. A.; WANG, Jen-Chywan. Metabolic functions of glucocorticoid receptor in skeletal muscle. **Molecular and cellular endocrinology**, v. 380, n. 1-2, p. 79-88, 2013.

LE, Hieu H. et al. PSIV-8 Effect of selenium and superoxide dismutase supplementation on heat stressed pigs. **Journal of Animal Science**, v. 97, n. Supplement_2, p. 179-179, 2019.

LEE, S. In; KANG, K. S. Function of capric acid in cyclophosphamide-induced intestinal inflammation, oxidative stress, and barrier function in pigs. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 16530, 2017.

LEWIS, Craig RG; BUNTER, Kim L. Effects of seasonality and ambient temperature on genetic parameters for production and reproductive traits in pigs. **Animal Production Science**, v. 51, n. 7, p. 615-626, 2011.

LI, D., et al. Ammonia-induced oxidative stress triggered proinflammatory response and apoptosis in pig lungs. **Journal of Environmental Sciences**, 126, 683-696, 2023.

LI, S., et al. The role of oxidative stress and antioxidants in liver diseases. **International journal of molecular sciences**, 16(11), 26087-26124, 2015.

LIU, F. et al. Review: What have we learned about the effects of heat stress on the pig industry? **Animal**, v. 10, 2022.

LIU, F. et al. Selenium and vitamin E together improve intestinal epithelial barrier function and alleviate oxidative stress in heat-stressed pigs. **Experimental physiology**, v. 101, n. 7, p. 801-810, 2016.

LIU, Y. et al. Dietary arginine supplementation alleviates intestinal mucosal disruption induced by Escherichia coli lipopolysaccharide in weaned pigs. **British Journal of Nutrition**, v.100, n.3 p.552-560, 2008.

MAKKER, Annu; GOEL, Madhu Mati; MAHDI, Abbas Ali. PI3K/PTEN/Akt and TSC/mTOR signaling pathways, ovarian dysfunction, and infertility: an update. **Journal of molecular endocrinology**, v. 53, n. 3, p. R103-R118, 2014.

MAYORGA, Edith J. et al. Heat stress adaptations in pigs. **Animal Frontiers**, v. 9, n. 1, p. 54-61, 2019.

MIN, Li et al. Metabolic responses and “omics” technologies for elucidating the effects of heat stress in dairy cows. **International journal of biometeorology**, v. 61, p. 1149-1158, 2017.

MOREIRA, Vinícius Eduardo et al. Effects of ambient temperature on the performance and thermoregulatory responses of commercial and crossbred (Brazilian Piau purebred sires× commercial dams) growing-finishing pigs. **Animals**, v. 11, n. 11, p. 3303, 2021.

MOUNT, L. E. **Heat loss from animals and man**: The concept of thermal neutrality. 1. ed. London. J. L. Monteith, L. E. Mount: 1974. p. 425-439.

OLIVEIRA, A. C. F. et al. Impacts on performance of growing-finishing pigs under heat stress conditions: a meta-analysis. **Veterinary research communications**, v. 43, p. 37-43, 2019.

OLIVEIRA, M. J. K et al. Effects of lowering dietary protein content without or with increased protein-bound and feed-grade amino acids supply on growth performance, body composition, metabolism, and acute-phase protein of finishing pigs under daily cyclic heat stress. **Journal of Animal Science**, v. 101, p. skac387, 2023b.

OTTEN, W.; KANITZ, E.; TUCHSCHERER, M. The impact of pre-natal stress on offspring development in pigs. **The Journal of Agricultural Science**, v. 153, n. 5, p. 907-919, 2015.

PARRISH, John J. et al. Scrotal insulation and sperm production in the boar. **Molecular reproduction and development**, v. 84, n. 9, p. 969-978, 2017.

PATHAK, P. K. et al. Impact of seasonal thermal stress on physiological and blood biochemical parameters in pigs under different dietary energy levels. **Tropical animal health and production**, v. 50, p. 1025-1032, 2018.

PATIENCE, John F.; ROSSONI-SERÃO, Mariana C.; GUTIÉRREZ, Néstor A. A review of feed efficiency in swine: biology and application. **Journal of animal science and biotechnology**, v. 6, n. 1, p. 1-9, 2015.

PEARCE, S. C. et al. Dietary organic zinc attenuates heat stress-induced changes in pig intestinal integrity and metabolism. **Journal of Animal Science**, v. 93, n. 10, p. 4702-4713, 2015.

PEARCE, S. C. et al. The effects of heat stress and plane of nutrition on metabolism in growing pigs. **Journal of animal science**, v. 91, n. 5, p. 2108-2118, 2013.

PEÑA JR, Santiago T. et al. Susceptibility of boar spermatozoa to heat stress using in vivo and in vitro experimental models. **Tropical Animal Health and Production**, v. 53, n. 1, p. 97, 2021.

PINTUS, E., ROS-SANTAELLA, J. L. Impact of oxidative stress on male reproduction in domestic and wild animals. **Antioxidants**, 10(7), 1154, 2021.

PIZZINO, G., Irrera, N., Cucinotta, M., Pallio, G., Mannino, F., Arcoraci, V., ... & Bitto, A. Oxidative stress: harms and benefits for human health. **Oxidative medicine and cellular longevity**, 2017.

POLLMANN, D. S. Seasonal effects on sow herds: industry experience and management strategies. **J. Anim. Sci**, v. 88, n. Suppl 3, p. 9, 2010.

PONNAMPALAM, E. N., et al. The importance of dietary antioxidants on oxidative stress, meat and milk production, and their preservative aspects in farm animals: Antioxidant action, animal health, and product quality—Invited review. **Animals**, 12(23), 3279, 2022.

QU, H.; AJUWON, K. M. Adipose tissue-specific responses reveal an important role of lipogenesis during heat stress adaptation in pigs. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 3, p. 975-989, 2018.

RENAUDEAU, D.; DOURMAD, J. Y. Review: Future consequences of climate change for European Union pig production, **Animal**, 16 (2), 100372. 2021.

RENAUDEAU, David; GOURDINE, Jean-Luc; ST-PIERRE, N. R. A meta-analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing-finishing pigs. **Journal of animal science**, v. 89, n. 7, p. 2220-2230, 2011.

RINALDO, Dominique; MOUROT, Jacques. Effects of tropical climate and season on growth, chemical composition of muscle and adipose tissue and meat quality in pigs. **Animal Research**, v. 50, n. 6, p. 507-521, 2001.

RIZOS, C. V.; ELISAF, M. S.; LIBEROPOULOS, E. N. Effects of thyroid dysfunction on lipid profile. **The open cardiovascular medicine journal**, v. 5, p. 76, 2011.

ROSS, J. W. et al. Physiological consequences of heat stress in pigs. **Animal Production Science**, v. 55, n. 12, p. 1381-1390, 2015.

ROSS, Jason W. et al. Mecanismos fisiológicos através dos quais o estresse térmico compromete a reprodução em suínos. **Reprodução e desenvolvimento molecular**, v. 84, n. 9, pág. 934-945, 2017.

Rohr, S. A., Dalla Costa, O. A., & Dalla Costa, F. A. (2016). Bem-estar animal na produção de suínos: toda a granja. Embrapa Suínos e Aves-Fôlder/Folheto/Cartilha(INFOTECA-E). <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1045866>. Acessado em 17 de outubro de 2023.

Rohr, M. L., de Oliveira Chaves, J., & Alves, L. M. S. (2018, July). Integrando Agropecuária, Física e Informática para o bem-estar animal: conforto térmico para suínos. In Anais do V Encontro Nacional de Computação dos Institutos Federais. SBC. <https://doi.org/10.5753/encompif.2018.3565>. Acessado em 17 de outubro de 2023.

SANZ FERNANDEZ, M. V. et al. Effects of heat stress on carbohydrate and lipid metabolism in growing pigs. **Physiological reports**, v. 3, n. 2, p. e12315, 2015.

SCHIAFFINO, Stefano et al. Mechanisms regulating skeletal muscle growth and atrophy. **The FEBS journal**, v. 280, n. 17, p. 4294-4314, 2013.

SEIBERT, J. T. et al. Effects of heat stress and insulin sensitizers on pig adipose tissue. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 2, p. 510-520, 2018.

SHASTAK, Y., GORDILLO, A., PELLETIER, W. The relationship between vitamin A status and oxidative stress in animal production. *Journal of Applied Animal Research*, 51(1), 546-553, 2023.

SHI, Z. B. et al. Effects of high ambient temperature on meat quality, serum hormone concentrations, and gene expression in the longissimus dorsi muscle of finishing pigs. **Animal Production Science**, v. 57, n. 6, p. 1031-1039, 2016.

SILVA, I. J. O. da; LIMA, G. F.; DELAGRACIA, Marcela Fernanda. Ambiência na produção de suínos. **Suinocultura: Uma saúde e um bem-estar**, 2020.

SPENCER, J. D. et al. Diet modifications to improve finishing pig growth performance and pork quality attributes during periods of heat stress. **Journal of Animal Science**, v. 83, n. 1, p. 243-254, 2005.

TANG, S., et al. Heat stress-induced renal damage in poultry and the protective effects of HSP60 and HSP47. **Cell Stress and Chaperones**, 23, 1033-1040, 2018.

TANG, X. et al. Weaning stress and intestinal health of piglets: A review. **Frontiers in Immunology**, v. 13, p. 1042778, 2022.

TANG, X., et al. Epidermal growth factor and intestinal barrier function. **Mediators of inflammation**, v. 2016, 2016.

WANG, Leli et al. Research progress on anti-stress nutrition strategies in swine. **Animal Nutrition**, 2023.

YANG, Peige et al. The expression of carnosine and its effect on the antioxidant capacity of longissimus dorsi muscle in finishing pigs exposed to constant heat stress. **Asian-Australasian journal of animal sciences**, v. 27, n. 12, p. 1763, 2014.

YONG, Y., et al. Overexpression of heat shock protein 70 induces apoptosis of intestinal epithelial cells in heat-stressed pigs: A proteomics approach. **Journal of thermal biology**, v. 108, p. 103289, 2022.

ZHONG, Y., Ma, et al. Effects of Hydrogen Peroxide-Induced Oxidative Stress on Intestinal Morphology, Redox Status, and Related Molecules in Squabs. **Animals**, 13(4), 749, 2023.