

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITOS DA INCLUSÃO DE ÁCIDO
GUANIDINOACÉTICO NA ALIMENTAÇÃO DE SUÍNOS
EM FASE DE TERMINAÇÃO SUBMETIDOS AO
ESTRESSE POR CALOR**

Discente: Amanda Faria de Oliveira
Orientador: Prof. Dr. Luciano Hauschild
Coorientador: Me. Lorena Duarte Campos

Jaboticabal - SP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITOS DA INCLUSÃO DE ÁCIDO GUANIDINOACÉTICO NA
ALIMENTAÇÃO DE SUÍNOS EM FASE DE TERMINAÇÃO SUBMETIDOS AO
ESTRESSE POR CALOR**

Amanda Faria de Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Luciano Hauschild

Coorientador: Me. Lorena Duarte Campos

Trabalho de Conclusão de Curso (Iniciação Científica) apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para graduação em Zootecnia.

Jaboticabal – SP

07/2025

FICHA CATALOGRÁFICA

O48e Oliveira, Amanda Faria de
Efeito da inclusão de Ácido Guanidinoacético na alimentação de suínos em fase de terminação submetidos ao estresse por calor / Amanda Faria de Oliveira. -- Jaboticabal, 2025
35 p.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Luciano Hauschild
Coorientadora: Lorena Duarte Campos

1. Nutrição animal. 2. Calor animal. 3. Aditivo. 4. Desempenho. 5. Proteínas
Metabolismo. I. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus Jaboticabal



AMANDA FARIA DE OLIVEIRA

EFEITOS DA INCLUSÃO DE ÁCIDO GUANIDINOACÉTICO NA ALIMENTAÇÃO DE SUÍNOS EM FASE DE TERMINAÇÃO SUBMETIDOS AO ESTRESSE POR CALOR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Hauschild

Coorientador (se houver): Me. Lorena Duarte Campos

Área de Concentração: Nutrição de suínos

Data da defesa: 15 / 07 / 2025

(X) Aprovado

() Reprovado

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
gov.br LORENA DUARTE CAMPOS
Data: 17/07/2025 15:29:38-0300
Verifique em: <https://validar.jrj.gov.br>

Me. Lorena Duarte Campos

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
gov.br ALICIA ZEM FRAGA
Data: 17/07/2025 17:50:49-0300
Verifique em: <https://validar.jrj.gov.br>

Prof. Dra. Alicia Zem Fraga

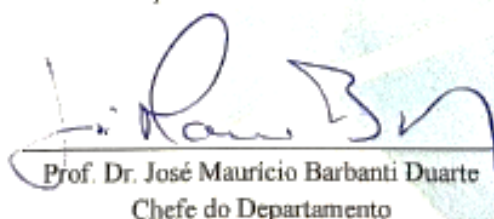
UFRRJ – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Seropédica RJ

Documento assinado digitalmente
gov.br ALINI MARI VEIRA
Data: 17/07/2025 17:13:32-0300
Verifique em: <https://validar.jrj.gov.br>

Dra. Alini Mari Veira

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 18 / 07 / 2025


Prof. Dr. José Maurício Barbanti Duarte
Chefe do Departamento

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu avô, Jandir Vicente de Faria. Foi ao seu lado, nas vivências simples no sítio na minha infância, que descobri minha paixão pelos animais e encontrei o caminho que escolhi seguir. Ele foi essencial para que eu chegasse até aqui.

AGRADECIMENTOS

A Deus e à Nossa Senhora Aparecida, pois até aqui Eles me sustentaram e me guiaram em cada passo. Sem a minha fé, eu certamente não teria chegado até aqui.

Aos meus pais, pelo amor incondicional, por estarem sempre ao meu lado, me apoiando e ajudando com tudo o que podiam, mesmo nos momentos mais difíceis. À minha irmã Valentinna, por ser meu suporte e presença carinhosa.

Agradeço à minha família, por sempre acreditar em mim, mesmo quando eu mesma duvidei. O apoio e a confiança de vocês fizeram toda a diferença.

Ao Prof. Dr. Luciano Hauschild, meu orientador, pela confiança orientação e incentivo durante todo o desenvolvimento deste trabalho e por todas as oportunidades proporcionadas ao longo da minha graduação e trajetória no LabSui.

À minha coorientadora, Me. Lorena Duarte Campos, por toda a ajuda, atenção e paciência durante a elaboração e escrita deste trabalho. Mesmo longe não mediu esforços para me apoiar e isso foi essencial.

Ao Laboratório de Estudos em Suinocultura (LabSui) onde cresci como estudante, pesquisadora e pessoa. Cada aprendizado e vivência ali foi marcante para a minha formação.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, que foi meu lar acadêmico e onde construí uma trajetória repleta de desafios e conquistas.

Em especial ao meu gatinho Damon, que foi meu suporte todas as vezes que estava exausta e esteve comigo em várias noites de estudo.

À minha amiga Giulia, parceira de casa, de turma, de estágio, de tudo. A jornada foi mais leve e divertida com você ao meu lado, dividindo cada momento, cada desafio, cada conquista.

Aos meus demais amigos de curso, Beatriz, Letícia, Maria Eugênia, Simone e João Victor por tornarem os dias mais fáceis, por cada risada, apoio, e por todos os trabalhos, estudos e momentos compartilhados. Sou imensamente grata por ter cruzado o caminho de vocês.

Às minhas vizinhas e grandes amigas Maria Julia e Sara Julia, que também marcaram minha trajetória acadêmica de forma muito especial. A convivência com vocês foi essencial.

A todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa caminhada, meu muito obrigada. Cada ação, palavra e presença contribuíram para que eu chegasse até aqui.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição nutricional centesimal e calculada das dietas.	12
Tabela 2 - Desempenho zootécnico e composição corporal de fêmeas suínas em terminação alimentadas com dietas suplementadas com ácido guanidinoacético (GAA), submetidas ou não ao estresse térmico constante.	16
Tabela 3 - Concentração de metabólitos séricos e plasmáticos de fêmeas suínas em terminação alimentadas com dietas suplementadas com ácido guanidinoacético (GAA), submetidas ou não ao estresse térmico constante.....	17

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Zona de conforto térmico, delimitada pelos limites da Temperatura Crítica Inferior (TCI) e Temperatura Crítica Superior (TCS).	3
Figura 2- Rota Metabólica do Ácido Guanidinoacético.	6
Figura 3- Temperatura retal semanal (D1 a D35) de suínos em terminação submetidos ao estresse térmico e a condição termoneutra ...	15

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1	Estresse térmico em suínos	2
2.2	Consequências fisiológicas e metabólicas de suínos em condições de estresse por calor	4
2.3	Ácido Guanidinoacético (GAA)	6
3	OBJETIVO	9
4	MATERIAL E MÉTODOS	10
4.1	Animais, alojamento e desenho experimental	10
4.2	Dietas experimentais e alimentação	11
4.3	Coletas de dados e análise experimental	13
4.3.1	Temperatura retal	13
4.3.2	Desempenho e composição corporal	13
4.3.3	Coleta de sangue	13
4.3.4	Análise estatística	14
5	RESULTADOS	14
5.1	Temperatura retal	14
5.2	Desempenho e composição corporal	15
5.3	Parâmetros sanguíneos	16
6	DISCUSSÃO	17
6.1	Efeito do estresse térmico sobre o desempenho produtivo	18
6.2	Alterações na composição corporal	18
6.3	Parâmetros sanguíneos e metabólicos	19
7	CONCLUSÃO	20
8	RESUMO	21
9	SUMMARY	22
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

1 Introdução

As mudanças climáticas globais são consideradas um dos maiores desafios para a produção animal nas próximas décadas. Com o aumento da demanda por produtos de origem animal e a expansão dos sistemas de produção intensivo de suínos, especialmente em regiões de climas tropicais, os suínos serão cada vez mais expostos a condições de estresse térmico ou estresse por calor, o que compromete o bem-estar, a saúde e o desempenho dos mesmos. Estudos mostram que o estresse por calor afeta negativamente vários aspectos da produção de suínos, incluindo desempenho reprodutivo, crescimento e eficiência alimentar (Mayorga *et al.*, 2020; Ross *et al.*, 2019)

Os suínos possuem uma capacidade limitada de dissipar calor, resultante da alta produção de calor metabólico, elevada deposição de gordura subcutânea e glândulas sudoríparas não funcionais (Ross *et al.*, 2015). Portanto, esses animais dependem principalmente do aumento da frequência respiratória para se termorregular (Abuajamieh *et al.*, 2018). No entanto, essa adaptação tem um custo elevado, pois a respiração acelerada aumenta o consumo de energia, podendo comprometer a ingestão alimentar e o desempenho dos suínos ao longo do tempo (Mayorga *et al.*, 2019; Renaudeau *et al.*, 2012). Além disso, suínos de genótipos modernos possuem maior termogênese, que é a produção de calor corporal, associada a maior taxa de deposição proteica, uma vez que a síntese de proteína muscular exige elevado consumo de energia e, consequentemente, maior produção de calor metabólico (Campbell *et al.*, 1991). Esses fatores fazem com que os suínos produzam mais calor e, ao mesmo tempo, sejam menos eficientes na dissipação de calor para o ambiente, aumentando a sua susceptibilidade ao estresse térmico (Renaudeau *et al.*, 2012).

Diante da limitação dos suínos em dissipar calor de forma eficiente, especialmente em altas temperaturas ambientais, é essencial identificar soluções que favoreçam a manutenção da resposta animal, para garantir para a sustentabilidade da produção uma vez que o estresse térmico compromete o desempenho dos suínos e, consequentemente, a rentabilidade do sistema produtivo. Nesse contexto, a compreensão de estratégias nutricionais capazes de mitigar os efeitos do estresse térmico nas respostas fisiológicas e metabólicas dos suínos torna-se um elemento fundamental nos sistemas de produção.

O ácido guanidinoacético (GAA) é precursor direto da creatina, uma substância que tem um papel crucial na produção de energia celular (Mendoza *et al.*, 2024). A creatina por sua vez, auxilia na melhora da utilização de energia no organismo, o que pode ser benefício em períodos

de estresse térmico, onde o gasto energético aumenta devido a necessidade de regulação da temperatura interna. A suplementação direta com creatina apresenta limitações relacionadas a instabilidade e alto custo, o que pode ser uma restrição na alimentação animal. Além disso, dietas utilizadas na suinocultura, à base de milho e farelo de soja, apresentam baixos teores de creatina, o que pode limitar sua síntese (Valini *et al.*, 2020). Nesse sentido, o GAA pode ser uma alternativa promissora, sendo considerado mais estável, de custo reduzido e de alta taxa de conversão endógena em creatina (Asiriwardhana; Bertolo, 2022; Baker, 2009).

Em condições termoneutras, a inclusão do GAA tem sido associada ao aumento do ganho de peso diário, da deposição de carne magra e à redução de espessura de toucinho dos suínos, resultando na melhoria da eficiência alimentar e da composição corporal (Jayaraman *et al.*, 2018; Lu *et al.*, 2020). Dessa forma, o uso do GAA pode ser uma estratégia para melhorar o desempenho produtivo dos suínos em ambientes de altas temperaturas. Embora até o momento não tenha estudos na literatura que demonstraram os efeitos do GAA em suínos submetidos ao estresse térmico, a sua utilização demonstra potencial para mitigar os efeitos negativos desse desafio ambiental no bem-estar, saúde e desempenho de suínos.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Estresse térmico em suínos

Os suínos são animais homeotérmicos, ou seja, possuem a capacidade de manter a temperatura corporal relativamente constante, mesmo diante de variações na temperatura ambiental. Para isso, utilizam de mecanismos fisiológicos e comportamentais de termorregulação, que são ativados em condições em que há desvio da faixa de temperatura considerada ideal.

A zona termoneutra corresponde a faixa na qual a temperatura corporal é mantida com o mínimo de esforço fisiológico, sem sensação de frio ou calor, otimizando o desempenho zootécnico (Teixeira *et al.*, 2021). A faixa de termoneutralidade é delimitada pelas temperaturas críticas superior e inferior (TCS e TCI, respectivamente). Quando a temperatura ambiental se encontra abaixo da temperatura crítica inferior (TCI), os suínos aumentam a taxa metabólica para conseguir produzir mais calor, elevando o consumo de adenosina trifosfato (ATP) e afetando o seu desempenho. Por outro lado, quando a temperatura ambiental ultrapassa temperatura crítica superior (TCS), há uma redução na perda do calor sensível e os animais começam a depender da perda de calor por evaporação (perda latente), que é menos eficiente

por conta das glândulas sudoríparas afuncionais, o que pode resultar no aumento da temperatura corporal (Jayaraman *et al.*, 2018), como ilustrado na figura 1.

A troca de calor por radiação envolve emissão ou absorção de calor entre o animal e o ambiente com temperaturas diferentes. A convecção ocorre pela movimentação do ar ou da água em contato com a pele do animal, que pode ser potencializada pelo vento (Silva, 1999). Na condução, o animal troca calor diretamente com superfícies, como o piso do galpão, enquanto a evaporação se dá pela respiração, intensificada quando a temperatura ambiente está acima da TCS (Dong *et al.*, 2012).

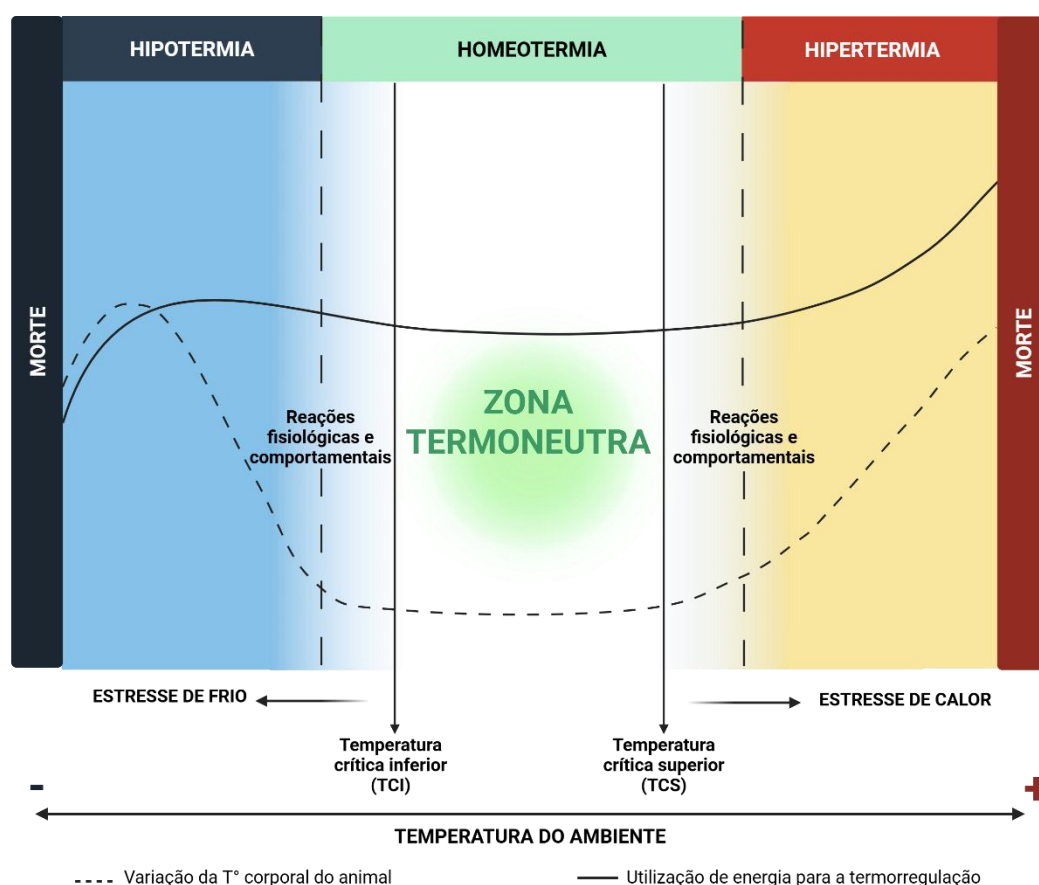


Figura 1- Zona termoneutra, delimitada pelos limites da Temperatura Crítica Inferior (TCI) e Temperatura Crítica Superior (TCS).

Adaptado de Baccari Junior (1998)

Um animal em condição de estresse térmico é aquele que se encontra fora da zona termoneutra e necessita da ativação dos mecanismos fisiológicos para manter a homeostase térmica, resultando em alterações fisiológicas, metabólicas e comportamentais. Portanto,

manter os suínos dentro da faixa da temperatura ideal é fundamental para preservar o bom desempenho e evitar perdas econômicas e produtivas.

2.2 Consequências fisiológicas e metabólicas de suínos em condições de estresse por calor

Durante o estresse por calor, respostas de dissipação de calor para o ambiente e diminuição da termogênese são ativadas. Dependendo da magnitude do estresse térmico, pode resultar em efeito negativo no desempenho produtivo e reprodutivo dos animais (Renaudeau *et al.*, 2012). Suínos mantidos a temperaturas máximas de até 32,2°C apresentaram menor eficiência alimentar e maior catabolismo proteico, quando comparados com aqueles mantidos em conforto térmico (Moraes *et al.*, 2022).

Em condição de estresse por calor, os suínos reduzem o consumo de ração como uma resposta para minimizar a produção de calor endógena. Essa resposta está relacionada ao incremento calórico da dieta, que corresponde a quantidade de calor produzida durante os processos de ingestão, digestão, absorção e excreção dos nutrientes (De Oliveira *et al.*, 2023). Dessa forma, ao diminuir a ingestão de alimento, reduzem também o incremento calórico, na tentativa de atingir a homeostase térmica. Segundo Thuy (2005) a redução no consumo de ração em suínos é uma das respostas mais eficazes para lidar com ambientes de alta temperatura. No entanto, essa resposta depende de diversos fatores, como categoria animal, peso corporal, genética, sexo e aspectos ambientais, incluindo o tipo de instalação e manejo nutricional (Renaudeau; Gourdine; St-Pierre, 2011). Em virtude de alterações metabólicas e neuroendócrinas, pode haver maior catabolismo muscular o que resulta na degradação acelerada das proteínas (Mayorga *et al.*, 2019). Por exemplo, a maior produção de hormônios catabólicos (como o cortisol) em suínos alojados em condição de estresse térmico, principalmente nas fases iniciais ou exposições agudas, pode resultar em maior degradação de proteínas musculares e redirecionamento de nutrientes relacionados à manutenção da temperatura corporal (Ross *et al.*, 2015). Contudo, em casos de exposição prolongada ao calor (condição de estresse crônico), os níveis hormonais podem se estabilizar devido a adaptação fisiológica dos animais. Além disso, durante o estresse térmico há um aumento da sensibilidade dos tecidos à insulina, que favorece a captação da glicose e faz com que o organismo utilize mais a glicose como fonte de energia (Sanz Fernandez *et al.*, 2015).

Além do impacto sobre o desempenho, o estresse térmico aumenta a temperatura retal (TR) dos animais, que pode ser utilizado como um indicador da temperatura interna. A elevada

TR pode indicar uma a inabilidade do animal manter a temperatura interna constante (Gourdine *et al.*, 2021). Em acréscimo, o estresse por calor é frequentemente associado com desafio sanitário. De fato, o estresse térmico pode desencadear ativação no sistema imune, que, embora seja uma defesa natural do organismo, pode comprometer a saúde dos animais se mantido por períodos prolongados (Pearce *et al.*, 2015). A integridade intestinal também pode ser comprometida em condições de altas temperaturas ambientais. À medida que a temperatura se eleva, há um redirecionamento do fluxo sanguíneo dos órgãos para a região periférica corporal, com intuito de aumentar a dissipação de calor (Abuajamieh *et al.*, 2018). Esse redirecionamento afeta a oxigenação e a oferta de nutrientes para os tecidos, principalmente no intestino, o que resulta em alteração na barreira intestinal, além de provocar danos às células epiteliais, contribuindo para ativação de respostas inflamatórias (Pearce *et al.*, 2013). Suínos em crescimento mantidos a 28,1°C e 34,4°C por dois dias ou a 28,1°C e 38,1°C por sete dias tiveram menor vilosidade intestinal e maior profundidade de criptas quando comparados com suínos alojados a 23,3°C (Vásquez *et al.*, 2022). Esses resultados sugerem comprometimento dos processos digestivos e absorptivos em condição de estresse térmico.

Elevadas temperaturas ambientais podem induzir o estresse oxidativo, causado pela produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (ROS). Essas moléculas provocam danos às células epiteliais do intestino, comprometendo a integridade da mucosa intestinal e aumentando sua permeabilidade. Consequentemente, essa inflamação sistêmica pode comprometer a eficiência produtiva e o bem-estar dos animais (Abuajamieh *et al.*, 2018).

O estresse por calor também pode promover alterações na composição corporal dos suínos. Suínos expostos a altas temperaturas tendem a apresentar maior deposição de tecido adiposo em comparação com suínos mantidos em condições termoneutras (Ross *et al.*, 2015). O aumento na deposição de gordura durante o estresse por calor pode estar associada a maior sensibilidade dos tecidos à insulina, que favorece a captação de glicose e estimula a lipogênese, além de inibir a mobilização de gordura (Sanz Fernandez *et al.*, 2015). Em paralelo, pode ocorrer maior catabolismo proteico (Le Naou *et al.*, 2012). Tais alterações na composição corporal ocorrem mesmo sob condições de alimentação controlada (*pair-feeding*), nas quais suínos expostos ao estresse térmico recebem a mesma quantidade de ração que os animais mantidos em ambiente termoneutro (Pearce *et al.*, 2013). Consequentemente, a proporção de tecido magro é reduzida, impactando na qualidade final da carcaça e, comprometendo o rendimento e o valor comercial dos suínos quando abatidos (Foury *et al.*, 2005).

2.3 Ácido Guanidinoacético (GAA)

O ácido guanidinoacético (GAA) é um derivado de aminoácido que está presente nos tecidos dos animais, sendo o principal precursor da creatina, um composto essencial para o metabolismo energético celular. O GAA, após sua formação, é transportado até o fígado pelo sangue, para gerar a creatina, que é transportada até os tecidos alvos e liberar energia na forma de ATP (Jayaraman *et al.*, 2018; Lu *et al.*, 2020). A síntese do GAA ocorre predominantemente nos rins, a partir da reação entre os aminoácidos (AA) arginina e glicina, catalisada pela enzima arginina:glicina aminotransferase (AGAT), resultando na formação de GAA e ornitina (Figura 2). Após sua síntese, o GAA é transportado via corrente sanguínea até o fígado, onde ocorre sua metilação para formar creatina. Esse processo é catalisado pela enzima guanidinoacetado N-metiltransferase (GAMT), utilizando a S-adenosilmetionina (SAM) como doadora do grupo metil. A SAM, ao doar o grupo metil, é convertida em S-adenosil-homocisteína (SAH) e a creatina formada é liberada na corrente sanguínea para ser captada pelos tecidos alvo, como por exemplo, o músculo (Jayaraman *et al.*, 2018; Lu *et al.*, 2020).

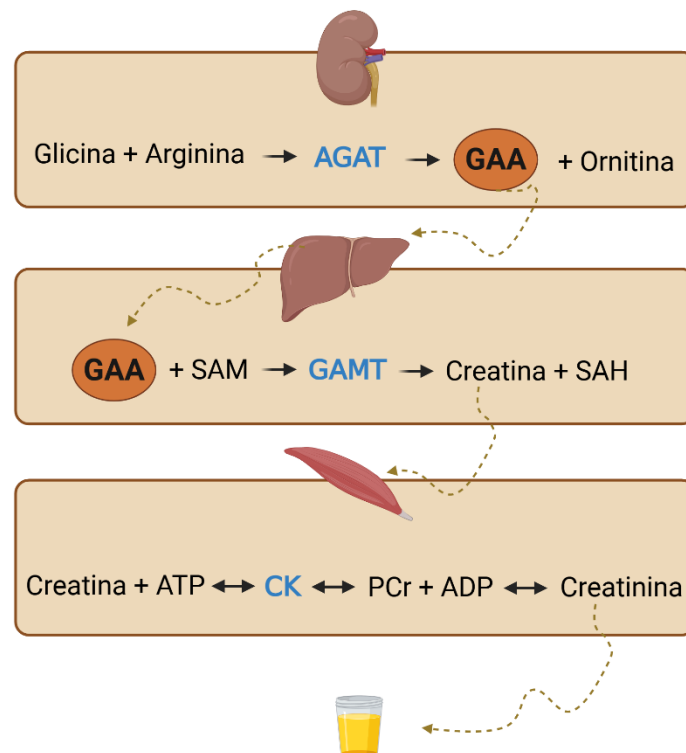


Figura 2- Rota Metabólica do Ácido Guanidinoacético.

No músculo, a creatina é convertida em fosfocreatina (PCr) por meio da enzima creatina quinase (CK). A fosfocreatina atua como um reservatório de energia, funcionando como uma “bateria energética” que permite a regeneração rápida de ATP. Uma quantidade de 1,7% da creatina e fosfocreatina é convertida em creatinina e eliminada pela urina, o que requer uma necessidade constante de reposição de creatina no organismo animal (Lu *et al.*, 2020; Zhu *et al.*, 2020).

Ao considerar a rota metabólica do GAA, seus intermediários também podem beneficiar os animais em condições de altas temperaturas. Por exemplo, a arginina é um componente essencial na síntese de óxido nítrico (NO), uma substância que possui propriedades vasodilatadoras. O NO atua no relaxamento da musculatura lisa dos vasos, promovendo assim, o aumento do fluxo sanguíneo para as regiões periféricas, favorecendo a dissipação de calor em situações de estresse térmico. Em suínos, a vasodilatação periférica é um dos principais mecanismos utilizados para a dissipação de calor em ambientes quentes. Nesse sentido, NO desempenha um papel essencial por promover o relaxamento da musculatura lisa dos vasos. Estudos demonstram que a inibição da síntese de NO reduz a vasodilatação periférica e compromete a capacidade de termorregulação dos suínos em condições de estresse térmico (Lacerda; Marubayashi; Coimbra, 2005).

Outro intermediário da formação do GAA é a metionina, que participa do processo de metilação para a conversão do GAA em creatina. Essa metilação está associada ao ciclo da metionina e pode influenciar na homeostase glicêmica, uma vez que há evidências de que a suplementação com GAA pode aumentar a concentração de insulina (Asiriwardhana; Bertolo, 2022). Além disso, o GAA é considerado um aditivo poupador da arginina, permitindo que mais arginina esteja disponível para funções imunológicas e metabólicas (Dao; Swick, 2021).

Jayaraman *et al.*, 2018 demonstraram que a adição 0,12% de GAA na dieta pode melhorar o ganho de peso diário dos suínos, melhorar a eficiência alimentar e ainda elevar a porcentagem de carne magra e reduzir a espessura de toucinho. Além disso, a suplementação dietética de GAA para suínos está associada com o desenvolvimento de fibras musculares através da modulação de genes relacionados ao crescimento dessas fibras (Lu *et al.*, 2020).

É importante considerar que, embora a creatina possa ser suplementada através da dieta, seu uso apresenta limitações relacionadas à estabilidade química e ao custo elevado (Li *et al.*, 2018). Sendo assim, o GAA seria uma alternativa mais estável e economicamente mais viável. Além disso, fontes vegetais comuns na alimentação dos suínos, como milho e farelo de soja,

possuem baixos teores de creatina, o que reforça o potencial de utilizar o GAA como um aditivo nutricional (Jayaraman *et al.*, 2018).

Considerando suas propriedades relacionadas ao metabolismo energético, desempenho produtivo e deposição proteica, pode-se hipotetizar que suínos alimentados com inclusão de GAA tenha melhor desempenho, metabolismo proteico mais eficiente e menor estresse metabólico quando comparados com os não suplementados em condição de estresse por calor.

3 Objetivo

Avaliar os efeitos da inclusão do ácido guanidinoacético (GAA) no desempenho, metabolismo e composição corporal de suínos em fase de terminação submetidos ao estresse por calor.

4 Material e Métodos

O estudo foi conduzido no Laboratório de Estudos em Suinocultura da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP – FCAV), na cidade de Jaboticabal, SP, Brasil. Todos os procedimentos realizados foram previamente revisados e aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da mesma instituição (protocolo nº: 003631/23).

4.1 Animais, alojamento e desenho experimental

Foram utilizadas 80 fêmeas suínas com peso corporal médio inicial de ± 50 kg. Os animais foram alojados em dois galpões experimentais, com piso de concreto e controle de temperatura. Os galpões possuíam uma única baia coletiva equipada com 8 bebedouros do tipo *nipple* e cinco alimentadores automáticos (AIPF - Automated Intelligent Precision Feeders). Os AIPF's permitiram a entrada de apenas um animal por vez e, ao requisitar ração, os alimentadores forneceram o respectivo tratamento. Transponders com números de identificação únicos foram colocados nas orelhas dos animais para serem reconhecidos pelos AIPFs. Dessa maneira, após a requisição, os AIPF's forneceram o tratamento experimental para qual o suíno foi designado, possibilitando que todos os animais fossem alojados na mesma baia e recebessem apenas o tratamento prescrito. As fêmeas suínas foram alojadas nos galpões uma semana antes do início do período experimental para que se adaptassem aos AIPF's.

Os galpões possuíam condições ambientais distintas: um foi mantido em temperatura termoneutra (22°C) e outro sob estresse térmico constante (35°C). O controle da temperatura nos galpões foi realizado por meio de sistema automatizado composto de exaustores, sistemas de resfriamento evaporativo (no galpão termoneutro) e aquecedores (no galpão de estresse térmico).

Os animais foram distribuídos em um delineamento em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial 2×2, considerando duas temperaturas ambientais (termoneutralidade e estresse térmico) e dois níveis de inclusão de ácido guanidinoacético (0 e 900 g/tonelada de ração). Dessa forma, o experimento consistiu de quatro tratamentos, cada um com 20 repetições, sendo cada suíno considerado uma unidade experimental. O período experimental teve duração de 35 dias.

4.2 Dietas experimentais e alimentação

As dietas experimentais foram formuladas à base de milho e farelo de soja, suplementadas com aminoácidos industriais, minerais e vitaminas, conforme as exigências nutricionais descritas nas Tabelas Brasileiras de Aves e Suínos (Rostagno *et al.*, 2024). As rações foram fornecidas na forma peletizada. A composição centesimal das dietas fornecidas durante o experimento está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição nutricional centesimal e calculada das dietas.

50 a 80 kg		
Item	Controle	GAA
Milho	70.49	70.49
Farinha de soja	20.12	20.12
Farelo de trigo	5.00	5.00
Fosfato bicálcico	1.14	1.14
Calcário	0.70	0.70
Óleo de soja	0.50	0.50
Cloreto de sódio	0.41	0.41
L-Lisina, 60% (Biolys)	0.48	0.48
L-Treonina, 98,5%	0.17	0.17
DL-Metionina, 99%	0.19	0.19
L-Triptofano, 98%	0.04	0.04
Mistura mineral*	0.08	0.08
Mistura vitamínica*	0.04	0.04
Dextrina	0.50	0.50
Colina, 60%	0.06	0.06
Antioxidante	0.10	0.10
GAA	-	0.09
Total	100.00	100.09
<i>Valores nutricionais calculados</i>		
Energia Met., Kcal/kg	3235	3235
Energia Líquida, Kcal/kg	2462	2462
Proteína Bruta, %	16.58	16.58
SID Lis, %	0.95	0.95
SID Met+cis, %	0.63	0.63
SID Met, %	0.40	0.40
SID Thr, %	0.66	0.66
SID Trp, %	0.19	0.19
SID Val, %	0.65	0.65
SID Ile, %	0.57	0.57
SID Leu, %	1.25	1.25
SID Arg, %	0.94	0.94
SID His, %	0.38	0.38
SID Phe, %	0.69	0.69
SID Phe+tir, %	1.21	1.21
P Disponível, %	0.32	0.32
STTD P, %	0.30	0.30
Ca, %	0.63	0.63
Na, %	0.18	0.18
Fibra Bruta, %	3.03	3.03

Premix mineral e vitamínico fornecido pela Nutri – Guabi Nutrição e Saúde Animal (Sales Oliveira-São Paulo, Brasil). Fornecido por kg de ração (como fornecido): Manganês, 40 mg; Cobre, 15 mg; Ferro, 24,93 mg; Cobalto, 0,168 mg; Iodo, 1,416 mg; Zinco, 74,971 mg; Ácido fólico, 0,32 mg; Ácido D-Pantotênico, 14,8 mg; Biotina, 0,04 mg; Niacina, 28 mg; Selênio, 0,25 mg; Vitamina A, 6000 UI; Vitamina B1, 1,2 mg; Vitamina B12, 22 mcg; Vitamina B2, 4,4 mg; Vitamina B6, 1,4 mg; Vitamina D3, 1400 UI; Vitamina E, 26 UI; e vitamina K3, 2,16 mg.

4.3 Coletas de dados e análise experimental

4.3.1 Temperatura retal

Foi mensurada a temperatura retal (TR) de todos os animais nos dias D1, D3, D5, D7, D14, D21, D28 e D35 do período experimental. As medições foram realizadas no mesmo horário, às 6h, com auxílio de um termômetro clínico digital (GTECH, TH150).

4.3.2 Desempenho e composição corporal

Para avaliar o desempenho, os suínos foram pesados individualmente no início e ao final da fase experimental, D0 e D35 respectivamente. Com os dados fornecidos pelos AIPF's foram calculadas as variáveis de desempenho: consumo médio diário de ração (CMDR) e eficiência alimentar (EA).

A composição de massa magra e gordura dos animais foram mensuradas em 15 animais por tratamento, no início e final do período experimental (D0 e D35) por meio de equipamento de absorciometria por duplo feixe de raio X (DXA; Hologic Discovery, Hologic, Inc., Bedford, MA). Foram escolhidos os suínos que estavam próximos da média de peso de cada tratamento, evitando os mais leves e os mais pesados. Em seguida, estes dados foram utilizados para estimar a composição corporal em proteína e lipídio de acordo com as equações de Pomar e Rivest (1996):

$$\text{Proteína corporal (g)} = -1.384 + 0,216 \times \text{massa magra (g)}$$

$$\text{Lipídio corporal (g)} = 2.825 + 1,009 \times \text{massa gorda (g)}$$

4.3.3 Coleta de sangue

Foi realizada a coleta de sangue nos dias 0, 7 e 35 de um total de 40 suínos (10 animais por tratamento), sendo o sangue obtido por punção da veia jugular e armazenado em tubos com e sem EDTA (BD Vacutainer, São Paulo, Brasil), para análise bioquímica. Os animais foram escolhidos de forma a representar a média de peso do grupo, evitando os mais leves e os mais pesados. As amostras foram centrifugadas a $1500 \times g$ a 4°C (NT 835, 147 Novatecnica, Piracicaba, Brasil), por 10 minutos para separação do soro/plasma, que foi armazenado a -80°C até as análises laboratoriais. Foram avaliadas as concentrações de proteína total, ureia, creatinina, glicose, lactato desidrogenase (LDH), lactato e triglicerídeos por meio de um

espectrofotômetro semiautomático de bioquímica e turbidimetria (Labmax Plenno, Labtest, Lagoa Santa, Brasil).

4.3.4 Análise estatística

Os dados foram analisados por meio de um delineamento em blocos casualizados em um arranjo fatorial 2×2 , utilizando o procedimento GLIMMIX do software SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC, EUA). O modelo estatístico considerou os efeitos fixos da temperatura ambiente, da suplementação com GAA (dieta) e sua interação (temperatura*dieta), além do efeito aleatório do bloco de peso inicial. Quando analisado ao longo do tempo dentro de cada condição ambiental, o efeito das dietas, dia e interação dietas*dia foram considerados como efeitos fixos sendo bloco e peso inicial como efeitos aleatórios. A normalidade dos resíduos foi testada pelo teste de Shapiro-Wilk, sendo considerados outliers valores superiores a ± 3 desvios-padrão. O nível de significância adotado foi de $P \leq 0,05$, e tendências foram consideradas quando $0,05 < P < 0,10$.

5 Resultados

5.1 Temperatura retal

Para TR, houve efeito do dia do experimento nas condições de estresse por calor e termoneutralidade ($P < 0,01$; Figura 4). Em ambas condições experimentais, na primeira semana (D1 a D7), os animais apresentaram menor TR em relação ao restante do período experimental (exceto para D28 na condição de estresse térmico). Não houve efeito das dietas experimentais e interação entre as variáveis estudadas ($P > 0,05$).

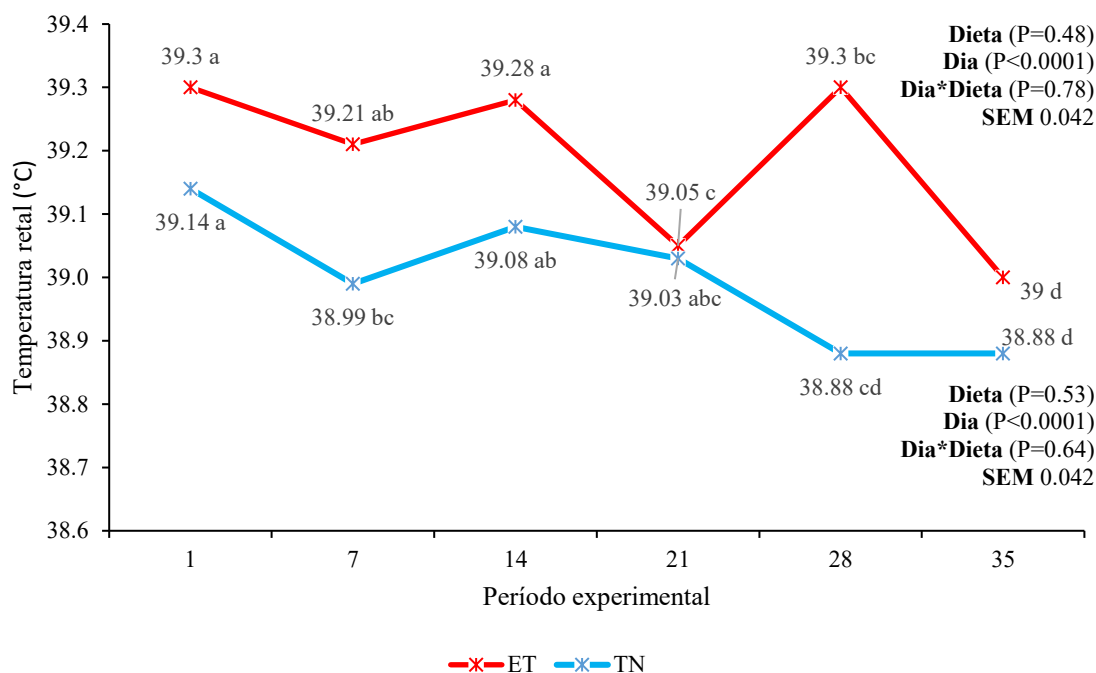


Figura 3 - Temperatura retal semanal (D1 a D35) de suínos em terminação submetidos ao estresse térmico (ET) e a condição termoneutra (TN).

5.2 Desempenho e composição corporal

Os efeitos dos tratamentos no desempenho e composição corporal dos animais em crescimento e terminação está apresentado na Tabela 2. Não houve interação entre temperatura ambiental (TA) e dietas experimentais (dieta) para nenhuma das variáveis estudadas ($P>0,05$). Durante a o período experimental, a temperatura ambiente teve efeito para GPMD, CRMD, deposição de lipídios, peso final, proteína e lipídio corporal final ($P<0,05$), independentemente da dieta. Animais mantidos em ambiente de estresse térmico apresentaram menores valores para todas essas variáveis em relação aos mantidos em ambiente termoneutro.

Em relação aos ambientes, animais mantidos em estresse térmico apresentaram menor deposição de proteína quando comparados com os de ambiente termoneutro ($P<0,001$). Independentemente da temperatura ambiental, a deposição de proteína foi maior para os animais alimentados com dieta GAA em relação aos com dieta controle ($P=0,006$).

A dieta apresentou tendência para proteína corporal final ($P=0,065$), onde foi maior nos animais alimentados com dieta GAA para ambas as condições ambientais.

Tabela 2 - Desempenho zootécnico e composição corporal de fêmeas suínas em crescimento e terminação alimentadas com dietas suplementadas com ácido guanidinoacético (GAA), submetidas ou não ao estresse térmico constante.

<i>Temperatura ambiente</i> <i>Dieta:</i>	Termoneutro		Estresse térmico		EPM	P-valor		
	Controle	GAA	Controle	GAA		TA	Dieta	TA×Dieta
Condições iniciais								
Peso inicial, kg	47.43	47.59	48.39	47.66	0.697	0.455	0.673	0.519
Proteína corporal inicial, kg	7.71	7.75	7.91	7.79	0.127	0.340	0.765	0.517
Lipídio corporal inicial, kg	7.36	7.29	7.35	7.20	0.177	0.770	0.521	0.810
Fase 1 (0 a 35 dias) – Desempenho e condições finais								
GPMD, kg	1.004	1.055	0.850	0.889	0.020	<0.001	0.022	0.743
CRMD, kg	2.240	2.318	1.865	1.910	0.046	<0.001	0.178	0.716
EA	0.449	0.457	0.459	0.467	0.009	0.286	0.394	0.984
Deposição de proteína, g/d	169.9	183.5	152.2	159.8	3.750	<0.001	0.006	0.426
Deposição de proteína, % GPMD	17.2	17.4	17.9	18.0	0.254	0.004	0.582	0.773
Deposição de lipídios, g/d	188.8	191.3	133.5	136.8	10.545	<0.001	0.778	0.972
Deposição de lipídios, % GPMD	19.0	18.1	15.7	15.5	1.034	0.006	0.590	0.751
Peso final, kg	82.55	84.53	78.12	78.82	1.522	<0.001	0.544	0.661
Proteína corporal final, kg	13.65	14.17	13.24	13.38	0.180	0.001	0.065	0.299
Lipídio corporal final, kg	13.97	13.99	12.03	11.99	0.488	<0.001	0.984	0.952

GAA: ácido guanidinoacético; EPM: erro padrão da média; TA: temperatura ambiente; GPMD: ganho de peso médio diário; CRMD: consumo de ração médio diário; EA: eficiência alimentar; % GPMD: em relação ao GPMD.

5.3 Parâmetros sanguíneos

O efeito dos tratamentos nos parâmetros sanguíneos está apresentado na Tabela 3. No dia 0, a dieta teve efeito para a ureia, independentemente da temperatura ambiente ($P=0,046$).

Em contraste, no dia 7, a temperatura ambiente apresentou efeito para a ureia, independentemente da dieta experimental ($P=0,054$).

Ao longo do período experimental (dia 35), o efeito do GAA sobre a creatinina e a LDH dependeu da temperatura ($P= 0,087$ e $P=0,049$). Em estresse térmico, a concentração de creatinina e LDH foi menor nos animais alimentados com dieta de inclusão do GAA. Para a creatinina foi 1.18 mg/dL no tratamento controle e 1.03 mg/dL na inclusão de GAA, enquanto na condição termoneutro o efeito foi mínimo (0.93 mg/dL controle e 0.99 GAA). O mesmo se observou para a LDH (592.7 U/L controle e 435.0 U/L GAA), enquanto em termoneutro o efeito também foi mínimo (418.4 U/L controle e 427.7 U/L GAA).

Tabela 3 - Concentração de metabólitos séricos e plasmáticos de fêmeas suínas em crescimento e terminação alimentadas com dietas suplementadas com ácido guanidinoacético (GAA), submetidas ou não ao estresse térmico constante.

nao ao estresse termico constante.									
Temperatura ambiente:	Termoneutro		Estresse térmico		EPM	P-valor			
Dieta:	Controle	GAA	Controle	GAA		TA	Dieta	TA×Dieta	
Condição inicial (0 d)									
Proteína total, g/dL	2.75	2.88	2.99	2.81	0.241	0.718	0.911	0.512	
Ureia, mg/dL	15.45	11.85	14.55	13.05	1.233	0.904	0.046	0.400	
Creatinina, mg/dL	0.96	1.02	1.05	1.03	0.075	0.470	0.768	0.567	
Glicose, mg/dL	101.17	85.85	90.25	99.85	7.793	0.838	0.705	0.105	
LDH, U/L	559.05	568.50	641.60	531.00	56.057	0.666	0.335	0.254	
Lactato, mg/dL	57.45	50.20	70.50	40.65	13.021	0.894	0.164	0.391	
Triglicerídeos mg/dL	36.80	27.15	23.90	26.25	4.467	0.131	0.419	0.188	
Dia 7 (7 d)									
Proteína total, g/dL	4.27	3.61	4.03	3.68	0.512	0.868	0.334	0.770	
Ureia, mg/dL	11.90	10.40	13.60	13.80	1.282	0.054	0.615	0.511	
Creatinina, mg/dL	1.10	1.10	1.22	1.13	0.109	0.531	0.662	0.676	
Glicose, mg/dL	89.25	79.15	84.35	86.05	6.550	0.880	0.525	0.374	
LDH, U/L	904.30	844.70	817.80	806.60	109.030	0.571	0.747	0.826	
Lactato, mg/dL	32.90	35.85	49.40	36.78	7.824	0.255	0.525	0.308	
Triglicerídeos mg/dL	27.56	24.00	27.90	26.90	4.031	0.678	0.561	0.744	
Final da fase 1 (35 d)									
Proteína total, g/dL	2.32	2.21	2.61	2.17	0.206	0.554	0.192	0.431	
Ureia, mg/dL	13.70	15.00	14.10	12.50	1.208	0.391	0.902	0.238	
Creatinina, mg/dL	0.93	0.99	1.18	1.03	0.060	0.026	0.476	0.087	
Glicose, mg/dL	98.00	85.05	88.30	86.90	5.915	0.511	0.233	0.335	
LDH, U/L	418.44	427.70	592.70	435.00	42.760	0.035	0.078	0.049	
Lactato, mg/dL	35.75	32.25	34.56	26.00	6.671	0.571	0.360	0.700	
Triglicerídeos, mg/dL	19.20	17.70	28.90	19.80	3.540	0.104	0.143	0.290	

GAA: ácido guanidinoacético; EPM: erro padrão da média; TA: temperatura ambiente; LDH: lactato desidrogenase.

6 Discussão

A exposição dos animais à condição de estresse por calor no presente estudo foi estabelecida com base em uma temperatura ambiental constante de 35°, valor superior à zona de conforto térmico descrita para suínos em crescimento e terminação, que varia entre 16° e 22°C (Gao *et al.*, 2020). Essa condição estabelecida foi confirmada pela elevação da TR dos animais alojados no galpão de estresse térmico, em comparação com aqueles alojados no galpão termoneutro. Embora a TR não seja um marcador exclusivo do estresse térmico, maiores valores são considerados um dos indicadores mais sensíveis do estado fisiológico, refletindo uma dificuldade dos suínos em manter a homeostase térmica. Estudos indicam que a TR é o

indicador mais utilizado para identificar o estresse térmico em suínos, aumentando cerca de 0,1°C para cada °C acima da temperatura termoneutra (Johnson; Stewart, 2025).

6.1 Efeito do estresse térmico sobre o desempenho produtivo

A hipofagia induzida pelo calor e a priorização da homeostase térmica comprometem o desempenho dos animais. No presente estudo, observou-se menor valor no ganho de peso médio diário (GPMD) e no consumo de ração médio diário (CRMD) dos animais submetidos ao estresse térmico em relação aos mantidos em ambiente termoneutro. Menor CRMD é uma resposta fisiológica que reflete na tentativa do animal de reduzir o calor metabólico gerado pela ingestão (Sanz Fernandez *et al.*, 2015). Esse efeito da temperatura também foi observado para outras variáveis de desempenho estudada como GPMD, deposição de lipídios, peso final, proteína e lipídio corporal final.

A inclusão do GAA resultou em maior GPMD e na deposição diária de proteína corporal. Esse efeito pode ser atribuído à sua atuação como o precursor da creatina, favorecendo a ressíntese de ATP via sistema fosfocreatina, otimizando o uso de energia (He *et al.*, 2018; Majdeddin *et al.*, 2020).

6.2 Alterações na composição corporal

O estresse por calor resultou em menor deposição de proteína e lipídios corporais, independentemente da dieta experimental, o que está associado à intensificação do catabolismo proteico e à redução da lipogênese, redirecionando os nutrientes para a manutenção da homeostase. Independentemente da temperatura ambiental, os animais alimentados com adição de GAA tiveram maior deposição de proteína, que pode estar associado pela maior disponibilidade de energia muscular e pela função de poupar arginina, que pode ser redirecionada para a síntese proteica (DeGroot; Braun; Dilger, 2019; Majdeddin *et al.*, 2023).

Apesar da falta de estudos avaliando diretamente a composição corporal com o uso do GAA na suplementação de suínos, dados de estudos em frangos demonstram melhoria no rendimento de carcaça e qualidade de carne com a adição de GAA, indicando maior deposição de tecido magro (Michiels *et al.*, 2012). Entretanto, tais resultados, junto aos resultados no presente estudo, reforçam o papel do GAA na otimização do crescimento muscular.

6.3 Parâmetros sanguíneos e metabólicos

O estresse por calor contínuo pode causar alterações no metabolismo energético e proteico dos suínos, influenciando alguns indicadores sanguíneos. A ureia é um marcador do catabolismo proteico, e sua diminuição indica menor mobilização de proteínas musculares. É importante destacar que a ausência de alteração em alguns parâmetros pode estar relacionada a capacidade de adaptação dos animais ao longo do tempo, como também relatado por (Sanz Fernandez *et al.*, 2015).

Em relação ao LDH, sua concentração foi menor nos animais sob estresse térmico suplementados com GAA em relação aos animais que receberam dieta controle. A LDH é uma enzima associada a conversão de piruvato em lactato no metabolismo anaeróbico, liberada na corrente sanguínea após dano celular, principalmente em tecidos como músculo e fígado (Pandarathodiyil *et al.*, 2022). A redução dessa enzima sugere menor dano celular e maior estabilidade metabólica com o uso de GAA, possivelmente pela melhora no suprimento energético e menor estresse oxidativo. Além disso, a creatinina apresentou tendência à interação entre dieta e temperatura, com valores numericamente menores nos animais suplementados com GAA sob estresse térmico. A creatinina é um produto da degradação da creatina presente no tecido muscular, e sua redução pode estar associada a menor mobilização de proteínas musculares, o que reforça o potencial do GAA em preservar a massa magra em situações de estresse por calor (He *et al.*, 2018).

Embora nossa hipótese inicial tenha sido que existe uma associação entre dieta e temperatura ambiental para dados de desempenho e composição corporal, de maneira que a inclusão de GAA possa atenuar os efeitos de estresse por calor, esta hipótese não pôde ser comprovada no presente estudo. Em suma, independentemente das dietas experimentais, a exposição constante ao estresse térmico comprometeu o desempenho produtivo e alterou os parâmetros fisiológicos e metabólicos dos suínos. Por sua vez, a inclusão de GAA resultou em maior ganho de peso e deposição de proteína, independentemente da temperatura a qual os animais foram expostos (se 35 ou 22°C).

7 Conclusão

Em conclusão, independentemente das dietas experimentais, a exposição constante ao estresse térmico comprometeu o desempenho produtivo e alterou os parâmetros fisiológicos e metabólicos dos suínos. Os efeitos positivos da inclusão de GAA (900 g/tonelada de ração) ocorreram independentemente da temperatura ambiente. No entanto, devido ao potencial benefício da inclusão do aditivo avaliado (como observado pelas concentrações de LDH), sugere-se novas abordagens considerando a associação entre condição ambiental, exposição ao calor e outros níveis dietéticos de GAA, a fim de melhor compreender os potenciais benefícios dessa inclusão na espécie suína.

8 Resumo

O estresse por calor afeta o desempenho, o metabolismo e a composição corporal de suínos, sendo um desafio nos sistemas intensivos de produção. Estratégias nutricionais têm sido investigadas como forma de mitigar seus efeitos negativos, destacando-se o ácido guanidinoacético (GAA) por sua atuação no metabolismo energético. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da inclusão de GAA na dieta de fêmeas suínas em crescimento e terminação expostas ao estresse térmico constante. Foram utilizados 80 animais distribuídos em delineamento fatorial 2×2 , considerando dois níveis de temperatura (termoneutra e estresse térmico) e dois níveis de inclusão de GAA (0 e 900 g/t). O desempenho zootécnico, composição corporal e parâmetros sanguíneos foram avaliados ao longo de 35 dias. Não houve efeito significativo da suplementação com GAA (900 g/tonelada) sobre o ganho de peso médio diário (GPMD), consumo de ração médio diário (CRMD) e eficiência alimentar (EA). No entanto, a adição de GAA promoveu maior deposição de proteína corporal, independentemente da temperatura, e reduziu os níveis de ureia e LDH em suínos sob estresse por calor. Esses resultados sugerem que o GAA pode contribuir para melhor uso da proteína e redução de danos celulares.

Palavras-chave: estresse térmico, desempenho produtivo, GAA, nutrição animal, metabolismo proteico.

9 Summary

Heat stress negatively affects the performance, metabolism, and body composition of pigs, representing a major challenge in intensive production systems. Nutritional strategies have been investigated as a means to mitigate these negative effects, with guanidinoacetic acid (GAA) standing out due to its role in energy metabolism. This study aimed to evaluate the effects of dietary GAA supplementation in growing-finishing gilts exposed to constant heat stress (HS). A total of 80 animals were used in a 2×2 factorial design, considering two ambient temperatures (thermoneutral and heat stress) and two levels of GAA inclusion (0 and 900 g/t). Performance, body composition, and blood metabolites were evaluated over 35 days. No significant effects of GAA supplementation (900 g/t) were observed on average daily gain (ADG), average daily feed intake (ADFI), or feed efficiency (FE). However, GAA promoted greater protein deposition regardless of ambient temperature and reduced blood concentrations of urea and LDH in heat-stressed pigs. It is concluded that GAA has potential as a nutritional additive to attenuate the negative effects of heat stress in pigs.

Keywords: heat stress, growth performance, GAA, animal nutrition, protein metabolism.

10 Referências Bibliográficas

- ABUJAMIEH, M. *et al.* The effect of recovery from heat stress on circulating bioenergetics and inflammatory biomarkers. **Journal of Animal Science**, [s. l.], v. 96, n. 11, p. 4599–4610, 2018.
- ASIRIWARDHANA, M.; BERTOLO, R. F. Guanidinoacetic acid supplementation: A narrative review of its metabolism and effects in swine and poultry. **Frontiers in Animal Science**, [s. l.], v. 3, 2022. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/animal-science/articles/10.3389/fanim.2022.972868/full>. Acesso em: 19 jul. 2025.
- BACCARI JUNIOR, F. Adaptação de sistemas de manejo na produção de leite em climas quentes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE, Piracicaba, 1998. Anais... Piracicaba: FEALQ, 1998, p.24-67.
- BAKER, D. H. Advances in protein–amino acid nutrition of poultry. **Amino Acids**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 29–41, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00726-008-0198-3>. Acesso em: 19 jul. 2025.
- CAMPBELL, R. G. *et al.* Interrelationships between exogenous porcine somatotropin (PST) administration and dietary protein and energy intake on protein deposition capacity and energy metabolism of pigs. **Journal of Animal Science**, [s. l.], v. 69, n. 4, p. 1522–1531, 1991. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/1991.6941522x>. Acesso em: 18 jul. 2025.
- DAO, H. T.; SWICK, R. A. New insights into arginine and arginine-sparing effects of guanidinoacetic acid and citrulline in broiler diets. **World's Poultry Science Journal**, [s. l.], v. 77, n. 4, p. 753–773, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00439339.2021.1967708>. Acesso em: 19 jul. 2025.
- DE OLIVEIRA, M. J. K. *et al.* Feeding Behavior of Finishing Pigs under Diurnal Cyclic Heat Stress. **Animals**, [s. l.], v. 13, n. 5, p. 908, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-2615/13/5/908>. Acesso em: 19 jul. 2025.
- DEGROOT, A. A.; BRAUN, U.; DILGER, R. N. Guanidinoacetic acid is efficacious in improving growth performance and muscle energy homeostasis in broiler chicks fed arginine-deficient or arginine-adequate diets. **Poultry Science**, [s. l.], v. 98, n. 7, p. 2896–2905, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119302196>. Acesso em: 9 jul. 2025.
- DONG, H. *et al.* Regulating effects and mechanisms of Chinese medicine decoction on growth and gut hormone expression in heat stressed pigs. **Livestock Science**, [s. l.], v. 143, n. 1, p. 77–84, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871141311003180>. Acesso em: 4 jul. 2025.
- FOURY, A. *et al.* Stress hormones, carcass composition and meat quality in Large White×Duroc pigs. **Meat Science**, [s. l.], v. 69, n. 4, p. 703–707, 2005.

GAO, J. *et al.* Identification of Metabonomics Changes in Longissimus Dorsi Muscle of Finishing Pigs Following Heat Stress through LC-MS/MS-Based Metabonomics Method. **Animals: an open access journal from MDPI**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 129, 2020.

GOURDINE, J.-L. *et al.* The Genetics of Thermoregulation in Pigs: A Review. **Frontiers in Veterinary Science**, [s. l.], v. 8, p. 770480, 2021.

HE, D. T. *et al.* Effects of guanidinoacetic acid on growth performance, creatine and energy metabolism, and carcass characteristics in growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, [s. l.], v. 96, n. 8, p. 3264–3273, 2018.

JAYARAMAN, B. *et al.* Supplementation of guanidinoacetic acid to pig diets: effects on performance, carcass characteristics, and meat quality. **Journal of Animal Science**, [s. l.], v. 96, n. 6, p. 2332–2341, 2018.

JOHNSON, J. S.; STEWART, K. R. Heat stress matters: insights from United States swine producers. **Translational Animal Science**, [s. l.], v. 9, p. txaf001, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/tas/txaf001>. Acesso em: 9 jul. 2025.

LACERDA, A. C. R.; MARUBAYASHI, U.; COIMBRA, C. C. Nitric oxide pathway is an important modulator of heat loss in rats during exercise. **Brain Research Bulletin**, [s. l.], v. 67, n. 1–2, p. 110–116, 2005.

LE NAOU, T. *et al.* Metabolic changes and tissue responses to selection on residual feed intake in growing pigs1, 2. **Journal of Animal Science**, [s. l.], v. 90, n. 13, p. 4771–4780, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5226>. Acesso em: 4 jul. 2025.

LI, J. *et al.* Creatine Monohydrate and Guanidinoacetic Acid Supplementation Affects the Growth Performance, Meat Quality, and Creatine Metabolism of Finishing Pigs. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 66, n. 38, p. 9952–9959, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b02534>. Acesso em: 19 jul. 2025.

LU, Y. *et al.* Dietary guanidinoacetic acid improves the growth performance and skeletal muscle development of finishing pigs through changing myogenic gene expression and myofibre characteristics. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, [s. l.], v. 104, n. 6, p. 1875–1883, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jpn.13351>. Acesso em: 4 jul. 2025.

MAJDEDDIN, M. *et al.* Effects of feeding guanidinoacetic acid on oxidative status and creatine metabolism in broilers subjected to chronic cyclic heat stress in the finisher phase. **Poultry Science**, [s. l.], v. 102, n. 6, p. 102653, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579123001761>. Acesso em: 9 jul. 2025.

MAJDEDDIN, M. *et al.* Guanidinoacetic acid supplementation improves feed conversion in broilers subjected to heat stress associated with muscle creatine loading and arginine sparing. **Poultry Science**, [s. l.], v. 99, n. 9, p. 4442–4453, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579120303278>. Acesso em: 9 jul. 2025.

MAYORGA, E. J. *et al.* Biology of heat stress; the nexus between intestinal hyperpermeability and swine reproduction. **Theriogenology**, [s. l.], v. 154, p. 73–83, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0093691X20303071>. Acesso em: 4 jul. 2025.

MAYORGA, E. J. *et al.* Heat stress adaptations in pigs. **Animal Frontiers: The Review Magazine of Animal Agriculture**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 54–61, 2019.

MENDOZA, S. M. S. *et al.* 282 Effect of dietary supplementation with guanidinoacetic acid, a creatine precursor, in gestating and lactating sows on sow and litter performance. **Journal of Animal Science**, [s. l.], v. 102, n. Supplement 2, p. 176–177, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jas/skae102.196>. Acesso em: 19 jul. 2025.

MICHIELS, J. *et al.* Supplementation of guanidinoacetic acid to broiler diets: Effects on performance, carcass characteristics, meat quality, and energy metabolism. **Poultry Science**, [s. l.], v. 91, n. 2, p. 402–412, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119402010>. Acesso em: 9 jul. 2025.

MORAES, D. C. A. *et al.* Effect of capsaicin on the feed intake and immunoglobulin concentration of sows, and performance of piglets. **Tropical Animal Health and Production**, [s. l.], v. 54, n. 4, p. 241, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03233-4>. Acesso em: 4 jul. 2025.

PANDARATHODIYIL, A. K. *et al.* Lactate Dehydrogenase: The Beacon of Hope?. **Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences**, [s. l.], v. 14, n. Suppl 1, p. S1090, 2022. Disponível em: https://journals.lww.com/jpbs/fulltext/2022/14001/lactate_dehydrogenase__the_beacon_of_hope_.251.aspx. Acesso em: 9 jul. 2025.

PEARCE, S. C. *et al.* Dietary organic zinc attenuates heat stress-induced changes in pig intestinal integrity and metabolism. **Journal of Animal Science**, [s. l.], 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**, [s. l.], v. 91, n. 5, p. 2108–2118, 2013.

POMAR, Candido; KIPPER, Marcos; MARCOUX, Marcel. Use of dual-energy x-ray absorptiometry in non-ruminant nutrition research. *Revista Brasileira de Zootecnia*, [s. l.], v. 46, p. 621–629, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/XYS9mFjrvP5635KZvm3Bkcv/?lang=en>. Acesso em: 14 out. 2023.

RENAUDEAU, D. *et al.* Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. **Animal**, [s. l.], v. 6, n. 5, p. 707–728, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751731111002448>. Acesso em: 4 jul. 2025.

RENAUDEAU, D.; GOURDINE, J. L.; 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**, [s. l.], v. 89, n. 7, p. 2220–2230, 2011.

ROSS, J. W. *et al.* 208 Molecular mechanisms through which heat stress compromises reproduction in pigs. **Journal of Animal Science**, [s. l.], v. 97, n. Supplement_2, p. 120, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jas/skz122.212>. Acesso em: 4 jul. 2025.

ROSS, J. W. *et al.* Physiological consequences of heat stress in pigs. **Animal Production Science**, [s. l.], v. 55, n. 12, p. 1381–1390, 2015. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/an/AN15267>. Acesso em: 4 jul. 2025.

ROSTAGNO, H. S. *et al.* Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 4. ed. Viçosa, MG: UFV, DZO, 2017.

SANZ FERNANDEZ, M. V. *et al.* Heat stress increases insulin sensitivity in pigs. **Physiological Reports**, [s. l.], v. 3, n. 8, p. e12478, 2015.

SILVA, I. J. O. *Ambiência e qualidade na produção industrial de suínos*. Piracicaba: Fealq, 1999. 247 p.

TEIXEIRA, A. dos R. *et al.* Effects of heat stress on performance and thermoregulatory responses of Piau purebred growing pigs. **Journal of Thermal Biology**, [s. l.], v. 99, p. 103009, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306456521001777>. Acesso em: 4 jul. 2025.

THUY, null H. T. T. Heat stress in growing pigs. [s. l.], 2005. Disponível em: <https://research.wur.nl/en/publications/heat-stress-in-growing-pigs>. Acesso em: 4 jul. 2025.

VALINI, G. A. da C. *et al.* Guanidinoacetic acid supplementation on growth performance and molecular mechanisms of lean mass gain in nursery pigs. **Ciência Rural**, [s. l.], v. 50, p. e20190948, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/M8DyrVqcVGWN5dMK9TxKtsK/?lang=en>. Acesso em: 19 jul. 2025.

VÁSQUEZ, N. *et al.* Short- and Long-Term Exposure to Heat Stress Differently Affect Performance, Blood Parameters, and Integrity of Intestinal Epithelia of Growing Pigs. **Animals**, [s. l.], v. 12, n. 19, p. 2529, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-2615/12/19/2529>. Acesso em: 4 jul. 2025.

ZHU, Z. *et al.* Dietary guanidinoacetic acid supplementation improved carcass characteristics, meat quality and muscle fibre traits in growing-finishing gilts. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, [s. l.], v. 104, n. 5, p. 1454–1461, 2020.