

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo será disponibilizado somente a partir de 24/01/2027

At the author's request, the full text will not be available online until January 24, 2027

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
CÂMPUS DE BOTUCATU

ÓLEO DE PEQUI (*Caryocar brasiliense Camb.*) SOBRE A QUALIDADE
DA CARNE E SISTEMA ANTIOXIDANTE DE FRANGOS DE CORTE
EM ESTRESSE PELO CALOR

ELIS OMAR FIGUEROA CASTILLO

Tese apresentada ao Programa de Pós-
graduação em Zootecnia como parte das
exigências para obtenção de Título de
Doutor em Zootecnia

BOTUCATU – SP
Janeiro de 2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
CÂMPUS DE BOTUCATU

ÓLEO DE PEQUI (*Caryocar brasiliense* Camb.) SOBRE A QUALIDADE
DA CARNE E SISTEMA ANTIOXIDANTE DE FRANGOS DE CORTE
EM ESTRESSE PELO CALOR

ELIS OMAR FIGUEROA CASTILLO
ENGENHEIRO AGRÔNOMO – M.Sc. em Ciência e Tecnologia Animal

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Sartori

Co-orientador: Prof. Dr. Pedro de Magalhães Padilha

Tese apresentada ao Programa de Pós-
graduação em Zootecnia como parte das
exigências para obtenção do Título de
Doutor em Zootecnia.

BOTUCATU – SP
Janeiro de 2025

C352o Castillo, Elis Omar Figueroa
Óleo de pequi (caryocar brasiliense camb.) sobre a qualidade da carne e sistema antioxidante de frangos de corte em estresse pelo calor / Elis Omar Figueroa Castillo. -- Botucatu, 2025
114 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu
Orientador: José Roberto Sartori
Coorientador: Pedro de Magalhães Padilha

1. Aves. 2. Estresse cíclico. 3. HSP. 4. Gotejamento. 5. Fitogênicos.
I. Título.

ATESTADO DE APROVAÇÃO - DEFESA

Atestamos que **ELIS OMAR FIGUEROA CASTILLO**, RA nº: ZNP210171, Registro Nacional Migratório nº: F076875-4, defendeu, no dia 24/01/2025, a tese intitulada **ÓLEO DE PEQUI (*Caryocar brasiliense* Camb.) SOBRE A QUALIDADE DA CARNE E SISTEMA ANTIOXIDANTE DE FRANGOS DE CORTE EM ESTRESSE PELO CALOR**, junto ao Programa de Pós Graduação em Zootecnia, Curso de Doutorado, tendo sido 'APROVADO'.

Atestamos ainda que a obtenção do título dependerá de homologação pelo Órgão Colegiado competente.

Botucatu, 24 de janeiro de 2025

BIOGRAFIA DO AUTOR

ELIS OMAR FIGUEROA CASTILLO, nascido em Tegucigalpa, Honduras, em 20 de fevereiro de 1994. Ingressou em 2012 na Faculdade Escola Agrícola Panamericana, El Zamorano Campus Valle del Yeguaré, concluindo a graduação em Engenharia Agrônômica em 2015. Em fevereiro de 2019, ingressou no Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Animal da Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT), UNESP, Câmpus de Dracena, curso de Mestrado, onde foi bolsista do Programa Presidencial de Bolsas "Honduras" 2020, sendo que, em maio de 2021, submeteu sua dissertação à banca examinadora. Em agosto de 2021, iniciou seus estudos no Programa de Pós-graduação em Zootecnia, curso de Doutorado, na área de Nutrição e Produção Animal - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ), UNESP, Câmpus de Botucatu, onde foi bolsista pelo Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

DEDICATÓRIA

Principalmente a Deus, que abriu as portas para eu poder estudar fora do meu País.

A minha família, Camila Figueroa Rodriguez Mendes e meu filho Rael Figueroa Mendes.

Aos meus pais, Elis Omar Figueroa Maradiaga e Martha Elena Castillo Andino, e irmãos, que me dão apoio incondicional e fazem muito esforço para que eu possa me preparar bem para a vida.

Aos meus avós, que sempre me deram amor. Penso em vocês em todas as decisões que tomo, penso no mais maravilhoso amor. Vocês são uma grande benção de Deus.

Aos meus amigos, pois foi difícil estar em um novo País, mas tive sempre a ajuda de todos, em qualquer circunstância.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela oportunidade de realizar um dos meus grandes sonhos, estudar em um País estrangeiro, conhecendo uma cultura nova e tantas pessoas maravilhosas que me deram muito amor e me fizeram sentir em casa. Os fracassos são a escola da vida, pois entendi que, na vida, tudo tem um propósito, e a última palavra é a Dele. Dedico honrosamente minhas conquistas a Deus. Foram quatro anos cheios de aprendizagem, pedindo a Deus sabedoria para levar cada prova, e as novas amizades que fiz nessa trajetória que são pessoas que valem ouro.

Agradeço do fundo do meu coração que neste País conheci a minha esposa Camila e recebi minha benção Rael. Agradeço aos meus pais, Elis e Martha, assim como minha família e familiares por todos os sacrifícios que sempre fizeram por mim. Com eles não existe um “não”, e sempre me falam: “enquanto nós estivermos aqui, você estará bem”. Agradeço ao amor incondicional, todo conselho e todo o apoio que eles me dão, pois são meu motor quando estou querendo “jogar a toalha”. Obrigado por todo sacrifício, por me ensinarem que tudo tem base em Deus. Agora tenho uma família com quem posso compartilhar tempos especiais.

Agradeço aos meus irmãos, Jesus, Oscar e Paola, que sempre apoiaram minhas decisões e me ensinaram que conhecimento se conquista com o tempo. Vocês contribuíram para formar a pessoa que sou hoje.

Agradeço aos meus avós, Camilo e Virginia, que eu amo e que mudaram minha vida desde criança. São pessoas muito honestas, amáveis e trabalhadoras. Obrigado por todo amor que sempre me deram, e o mais importante: obrigado por me apoiarem em todas as minhas escolhas e, também pelos conselhos. Obrigado por me receberem em vossa casa sempre com amor. Os avós são tão sábios e tão carinhosos que poderiam ser eternos, mas como não são, quero desfrutar ao máximo o tempo que tenho com vocês. Vocês têm um espaço muito grande no meu coração, e digo que a formação que vocês me deram me faz um homem melhor a cada dia.

Agradeço grandemente a minha adorada avó Juanita (*in memoriam*) pelos ensinamentos e por ser uma pessoa tão sábia e sempre me dar conselhos, que até hoje ajudam em minha vida.

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia – UNESP/Botucatu, por me conceder a oportunidade de estudar o curso, pois adquiri experiências de valor inestimável. Obrigado pelo apoio durante todo o período.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Ass. Dr. José Roberto Sartori, pelo tempo de amizade, pela confiança que foi depositada em mim, por ser parte da sua equipe, pelos

ensinamentos e conselhos em situações difíceis, e pela paciência que teve em tudo. Obrigado, professor, por acrescentar coisas boas na minha vida.

Ao Laboratório de Nutrição de Aves (LabAves), todos os doutorandos, mestrandos, alunos de iniciação científica e estagiários, em especial Paola Ap. Damázio Rodrigues, Laís Garcia Cordeiro, Joyce Andrade da Silva, Júlia de Lima Lopes e ao técnico Wanderley Thiago da Silva que, sem vocês e sua ajuda e paciência comigo, eu não teria me adaptado no setor. E, obrigado pela ajuda na execução do projeto.

Ao Laboratório de Bioanalítica e Metaloproteômica (LBM) do Departamento de Química e Bioquímica/IBB-Unesp-Botucatu, em especial ao Prof. Dr. Pedro Magalhães Padilha meu coorientador e ao Dr. José Cavalcante Souza Vieira, por toda ajuda com as análises e paciência.

Agradeço a Profa. Dra. Margarida Maria Barros, por ceder o Laboratório de Nutrição e Saúde de Peixes – AquaNutri e a toda sua equipe, sempre nos ajudando.

Agradeço os docentes do curso e os demais funcionários da FMVZ, por ajudarem para que isto fosse possível.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo apoio financeiro para a realização dessa pesquisa (proc. 88887.658873/2021-00).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

EPÍGRAFE

Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar.

Josué 1:9

RESUMO GERAL

Com o aumento das temperaturas globais e a crescente preocupação dos consumidores com o bem-estar dos animais e qualidade da carne, o uso de aditivos fitogênicos nas rações tem crescido nos últimos anos para combater os efeitos negativos do estresse por calor nos frangos de corte. Diversos compostos bioativos que melhoram a termo tolerância de frangos de corte durante a exposição a desafios térmicos foram identificados em várias espécies e partes de plantas. Deste modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do estresse cíclico pelo calor em frangos de corte alimentados com dietas suplementadas com óleo de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) (OP) sobre a saúde global e a qualidade da carne de frangos de corte. Utilizaram-se 216 pintos de corte machos de um dia de idade, da linhagem Cobb®500, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2×2, sendo temperaturas (termoneutra e quente) e sem suplementação e com suplementação de óleo de pequi (0,00% e 0,60% de OP), com nove repetições de seis aves cada, totalizando quatro tratamentos. Foram avaliados a qualidade da carne (pH, cor da carne, perda por gotejamento, perda por cocção e oxidação muscular), a saúde global (atividade de enzimas antioxidantes no músculo, e lactato e glicose no sangue) e o proteoma muscular. Os dados coletados foram submetidos ao SAS OnDemand for Academics e a significância estatística foi determinada em $P < 0,05$. A qualidade da carne e a oxidação no músculo não apresentaram interação entre o uso do OP e as temperaturas estudadas ($P > 0,05$). Observou-se efeito ($P < 0,05$) da temperatura quente, que diminuiu a perda por gotejamento ($P = 0,0326$) e vermelhidão (a^*) ($P = 0,0331$). No entanto, foi observado efeito principal da dieta ($P < 0,05$), sendo que as aves mantidas em termoneutralidade apresentaram maiores níveis de glicose aos 42 dias, quando comparados as aves em estresse cíclico pelo calor. A inclusão de OP resultou em redução da glicose aos 42 dias ($P = 0,0067$) em comparação ao grupo controle. Os resultados proteômicos mostraram que a suplementação de 0,6% de OP promoveu a regulação positiva de proteínas associadas ao metabolismo celular, processo biológico, função molecular, metabolismo da glicose e componente celular. Conclui-se que a indução do estresse térmico atribuído neste estudo não foi capaz de promover o estresse oxidativo, oxidação do peito das aves e aumento da atividade enzimática antioxidante. A inclusão de óleo de pequi em dietas para frangos de corte não conseguiu atenuar os possíveis mecanismos de adaptação para o estresse calórico, mais apresenta ser promissor melhorador global da saúde e desenvolvimento muscular.

Palavras-chave: aves; estresse cíclico; HSP; gotejamento; fitogênicos.

ABSTRACT

With rising global temperatures and growing consumer concerns about animal welfare and meat quality, the use of phytogenic feed additives has grown in recent years to combat the negative effects of heat stress in broiler chickens. Several bioactive compounds that improve the term tolerance of broiler chickens during exposure to thermal challenges have been identified in several species and plant parts. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effect of cyclical heat stress in broiler chickens fed diets supplemented with pequi oil (*Caryocar brasiliense* Camb.) (OP) on the overall health and meat quality of broiler chickens. 216 one-day-old male broiler chicks of the Cobb®500 lineage were used, distributed in a completely randomized design, in a 2×2 factorial scheme, with temperatures (thermoneutral and hot) and without supplementation and with pequi oil supplementation (0.00% and 0.60% OP), with nine replications of six birds each, totaling four treatments. Meat quality (pH, meat color, drip loss, cooking loss and muscle oxidation), global health (activity of antioxidant enzymes in muscle, and lactate and glucose in blood) and muscle proteome were evaluated. Collected data was submitted to SAS OnDemand for Academics and statistical significance was determined at $P < 0.05$. Meat quality and muscle oxidation showed no interaction between the use of OP and the temperatures studied ($P > 0.05$). An effect ($P < 0.05$) of hot temperature was observed, which reduced drip loss ($P = 0.0326$) and redness (a^*) ($P = 0.0331$). However, a main effect of diet was observed ($P < 0.05$), with birds kept in thermoneutrality having higher glucose levels at 42 days, when compared to birds under cyclical heat stress. The inclusion of OP resulted in a reduction in glucose at 42 days ($P = 0.0067$) compared to the control group. Proteomic results showed that 0.6% OP supplementation promoted the upregulation of proteins associated with cellular metabolism, biological process, molecular function, glucose metabolism and cellular component. It is concluded that the induction of thermal stress attributed in this study was not able to promote oxidative stress, oxidation of the birds' breast and increase in antioxidant enzymatic activity. The inclusion of pequi oil in diets for broiler chickens was unable to mitigate the possible mechanisms of adaptation to heat stress, but it appears to be a promising overall improver of health and muscle development.

Keywords: birds; cyclical stress; HSP; dripping; phytogenics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1

Figura 1. Caracterização física do pequi (<i>Caryocar brasiliense camb.</i>)	21
Figura 2. Fluxograma sobre o processamento do óleo de pequi de forma artesanalmente.....	24
Figura 3. Transdução de energia mitocondrial, fisiopatologia do estresse oxidativo após estresse térmico e ação do sistema antioxidante.....	29

CAPÍTULO 3

Figura 1. Interação das proteínas no grupo OP caracterizadas no proteoma <i>Pectoralis major</i> de frangos de corte utilizando o software String.....	86
Figura 2. . Classificação das proteínas no grupo CN caracterizadas no proteoma <i>Pectoralis major</i> de frangos de corte utilizando o software String.....	88
Figura 3. Classificação das proteínas no grupo OP caracterizadas no proteoma <i>Pectoralis major</i> de frangos de corte utilizando o software String.....	92

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Composição química (g/100 g amostra), vitaminas ($\mu\text{g}/100\text{ g}$), valor energético (kcal), carotenoides e fenólicos totais (mg/100 g) da polpa do pequi cultivado em diferentes estados brasileiros (Estados de Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais, Tocantins e Piauí).....	21
Tabela 2. Perfis de ácidos graxos (%) da polpa de pequi.....	22

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Composição e valores calculados das dietas experimentais.....	58
Tabela 2. Temperaturas médias por fase utilizadas nas câmaras termoneutra e estresse térmico.....	59
Tabela 3. Qualidade da carne de frangos recebendo dieta controle e com óleo de pequi em diferentes temperaturas.....	63
Tabela 4. Concentração de malondialdeído (mg kg^{-1}) no músculo do peito (<i>Pectoralis major</i> , PM) alimentados com dietas controle e com óleo de pequi em diferentes temperaturas.....	64
Tabela 5. Determinação dos níveis de Lactato e Glicose em frangos de corte aos 21 e 42 dias de idade alimentados com dietas controle e com óleo de pequi em diferentes temperaturas.....	65
Tabela 6. Atividade enzimática antioxidante celular no peito frangos de corte aos 42 dias de idade alimentados com dietas controle e com óleo de pequi em diferentes temperaturas.....	66

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Composição e valores calculados das dietas experimentais	82
Tabela 2. Temperaturas médias por fase utilizadas nas câmaras termoneutra e estresse térmico.....	83

Tabela 3. Regulação positiva (Up) e negativa (Down) de proteínas no proteoma *Pectoralis major* de frangos de corte submetidos ao estresse térmico e alimentadas com óleo de pequi em comparação com o grupo alimentado com dieta controle.

..... 93

Tabela 4. Concentração de malondialdeído (mg kg^{-1}) no músculo do peito (*Pectoralis major*, PM) alimentados com dietas controle e com óleo de pequi em diferentes temperaturas.....

94

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

WHC	Capacidade de retenção de água
CN	Controle
OP	Óleo de Pequi
LDL	Lipoproteína de baixa densidade
HS	Estresse calórico
ERO	Espécies reativas ao oxigênio
AGI	Ácidos graxos insaturados
MUFAS	Ácidos graxos monoinsaturados
PUFAS	Ácidos graxos poli-insaturados
ATP	Adenosina trifosfato
NO	Óxido nítrico
HOCL	Ácido hipocloroso
H₂O₂	Peróxido de hidrogênio
1O₂	Oxigênio singlete
OH·	Radical hidroxila
O₂·-	Superóxido
SOD	Superóxido dismutase
CAT	Catalase
GSH-PX	Glutathione peroxidase
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
HSPS	Proteínas de choque térmico
GSH	Glutathione reduzida
GSSG	Glutathione oxidada
MDA	Malonaldeído
L*	Luminosidade
A*	Vermelhidão
B*	Amarelo
RNA	Ácido ribonucleico
PM	<i>Pectoralis major</i>
TCA	Ácido tricloroacético
TBA	Ácido tiobarbitúrico
EDTA	Ácido etilenodiamino tetra-acético

Sumário

CAPITULO 1.....	18
1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	19
2. REVISÃO DE LITERATURA	20
2.3 Extração Artesanal	25
2.4 Carotenoides.....	27
3. SISTEMA ANTIOXIDANTE (ESPÉCIES REATIVAS DE OXIGÊNIO E ESTRESSE OXIDATIVO).....	29
4. QUALIDADE DA CARNE	34
4.1 Indicadores da qualidade da carne:	34
5. PROTEÔMICA (O PAPEL DAS PROTEÍNAS DE CHOQUE TÉRMICO EM ADAPTAÇÃO AO ESTRESSE TÉRMICO).....	36
6. HIPOTESE	39
7. OBJETIVO GERAL	40
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
CAPÍTULO 2.....	54
1. INTRODUÇÃO	57
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	61
2.1 Delineamento experimental	61
2.2 Dietas e estresse térmico por calor	61
2.3 Atividade de enzimas antioxidantes no músculo.....	63
2.4 Qualidade da carne.....	64
2.5 Determinação da oxidação no músculo.....	64

2.6	Determinação do lactato e da glicose no sangue.....	65
3.	RESULTADOS	66
4.	DISCUSSÃO	71
5.	CONCLUSÃO	72
6.	AGRADECIMENTOS	73
7.	REFERÊNCIAS.....	73
	CAPÍTULO 3.....	79
1.	INTRODUÇÃO.....	82
2.	MATERIAL E MÉTODOS	84
	2.1 Delineamento experimental	84
	2.2 Dietas e estresse térmico por calor.....	84
	2.3 Proteína do tecido muscular do peito (Pectoralis major, PM) por shotgun – LC-MS/MS.....	84
3.	RESULTADOS	86
4.	DISCUSSÃO	95
5.	CONCLUSÃO	102
6.	AGRADECIMENTOS	102
7.	REFERÊNCIAS.....	102
	IMPLICAÇÕES	109

CAPITULO 1

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A produção de frangos de corte teve crescimento acelerado na indústria avícola brasileira e as exportações de carne de frango (*in natura* e processados) totalizaram 5,139 milhões de toneladas de janeiro a dezembro de 2023, superando em 4,2% o total embarcado no mesmo período do ano 2022. O que reflete quadro global altamente demandante por proteínas e um aporte econômico para o Brasil, sendo o maior exportador a nível mundial (ABPA, 2024).

O aquecimento global é hoje uma das principais preocupações ambientais para a indústria avícola e a pecuária em geral. O estresse por calor prejudica a saúde animal e diminui em grande parte a produtividade do lote, fazendo-se necessário considerar situações de condições ambientais e instalações inadequadas, como falhas de ventilação, condições climáticas extremas, umidade relativa do ar elevada e diferentes níveis de controles de temperatura em ambientes climatizados (Lara; Rostagno, 2013).

As aves, quando expostas ao estresse por calor, têm aumento na temperatura corporal, nas frequências respiratória e cardíaca, o que compromete o consumo de ração e a eficiência produtiva, afetando negativamente as características de qualidade da carne, pois acelera o metabolismo glicolítico *post mortem*, resultando em menor pH do músculo. O declínio rápido do pH, combinado com a alta temperatura do músculo durante o período *post mortem* precoce, pode induzir a desnaturação das proteínas miofibrilares e sarcoplasmáticas do músculo, levando a cor pálida, maior perda por gotejamento e funcionalidade prejudicada da proteína durante o processamento, levando à ocorrência de carne pálida, macia e exsudativa (PSE). A deterioração das proteínas e suas ligações pode comprometer a qualidade da carne fresca e influenciar as propriedades de processamento dos produtos cárneos (Zhang et al., 2012; Kim et al., 2014; Liu, et al., 2022).

Com o objetivo de reduzir o efeito dos fatores estressores e os custos de produção, o número de pesquisas com alimentos alternativos tem aumentado, proporcionando soluções nutricionais. Dentre estes alimentos, temos os resíduos agroindustriais, que são provenientes da produção e processamento de polpas de frutas que, além de possibilitarem redução no custo das rações, ajudam na preservação ambiental, permitindo a avicultura sustentável e a produção de proteína animal de alta qualidade (Nascimento, 2015). Muitos desses resíduos são oriundos de frutas e

hortaliças, que desempenham papel importante na manutenção da saúde e contribuem com o sistema antioxidante, por conta dos compostos bioativos presentes (Nascimento, 2015).

O óleo de pequi, por exemplo, é utilizado para obtenção de diversos produtos em indústrias alimentícias, farmacêuticas e terapêuticas por sua alta atividade antimicrobiana, antioxidante e antienotóxica (Costa et al., 2011; Chang et al., 2016). Além disso, destaca-se como matéria-prima útil para as indústrias alimentícia e farmacêutica, devido aos altos teores de ácidos graxos insaturados, sendo predominantemente o ácido oleico (60,6%). Também conhecido como ômega 9, o ácido oleico atua no metabolismo animal e desempenha papel importante na síntese hormonal, melhorando as condições cardíacas e reduzindo os triglicerídeos, o colesterol LDL, o colesterol total e o índice glicêmico, atribuindo resultados positivos da utilização desse óleo na saúde humana, na qual foi observado seu potencial contra os danos oxidativos (Mezzomo et al., 2010; Pinto et al., 2018).

Assim, o óleo de pequi apresenta características desejáveis, associadas à sua alta capacidade antioxidante em função da presença de significativos teores de carotenoides, compostos fenólicos e tocoferóis, pois aumentam os benefícios à saúde e melhoram a qualidade geral dos produtos cárneos (Miranda-Vilela et al., 2014; Serdaroglu et al., 2018; Paula et al., 2022). Dessa forma, é possível pensar no óleo de pequi como aditivo fitogênico com capacidade de prevenir doenças, e melhorar a produção e a saúde dos animais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ESTRESSE PELO CALOR

As aves são animais homeotérmicos que têm a capacidade de manter a temperatura do seu organismo dentro de determinada faixa de temperatura ambiente, com gastos de energia para produção ou perda de calor corporal. Por isso, aves comerciais precisam ser criadas sob condições de exigência mínima de energia para fins de termorregulação e energia líquida máxima disponível para fins de produção; ademais, o estresse pelo calor promove redução no consumo de ração, no rendimento de carne e no bem-estar, e aumenta a mortalidade em frangos de corte, diminuindo sua eficiência produtiva (Lara; Rostagno, 2013; Cruvinel et al., 2021).

Na maioria das situações, quando a temperatura do ar é inferior à temperatura corporal, a principal fonte de calor é a produção metabólica, e esse calor é dissipado

Metabolismo da glicose

O óleo de soja demonstrou afetar vários processos metabólicos, aumentando a expressão de proteínas envolvidas com o cálcio na atividade da ATP, já que a fructose-bisphosphatase e a Phosphoglucomutase 1 estão envolvidas e são cruciais para a gliconeogênese e o metabolismo do glicogênio, o que pode influenciar indiretamente o metabolismo muscular e a utilização de energia (Ribeiro et al., 2010; Zhang et al., 2020).

A frutose-bisfosfatase catalisa a conversão de frutose-1,6-bisfosfato em frutose-6-fosfato, uma etapa crucial na gliconeogênese, e ajuda a manter os níveis de glicose em demandas extras como: estresse metabólico, estresse por calor e demandas energéticas diversas, sendo assim primordial para ajudar a proporcionar a energia no músculo. Assim, o óleo de pequi seria um promissor favorecedor da expressão frutose-bisfosfatase que ajudaria a saúde muscular (Dzugaj, 2006; Gizak et al., 2019).

A regulação da enzima garante que a quebra do glicogênio para atender as demandas de energia irregulares de energia das células musculares durante diferentes estados de atividade e repouso. Assim, a ação da alfa-1,4 glucano fosforilase permite uma resposta rápida da mobilização de glicose das reservas de glicogênio, tornando-a crítica para o desempenho muscular sustentado, tendo importante expressão com o óleo de pequi (Ubiparip et al., 2021).

5. CONCLUSÃO

A análise proteômica neste estudo mostrou que a adição com 0,60% de óleo de pequi não aumenta a expressão de proteínas para auxiliar mecanismos de adaptação ao estresse pelo calor, mas pode-se observar expressão de proteínas que contribuem para a saúde global e qualidade da carne de frangos de corte.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pelo apoio financeiro (bolsa estudantil - Código Financeiro 001) para esta pesquisa.

7. REFERÊNCIAS

Abd el-hack, M. E., Abdelnour, S. A., Taha, A. E., Khafaga, A. F., Arif, M., Ayasan, T., Abdel-daim, M. M. (2020). Herbs as thermoregulatory agents in poultry: An overview. *Science of the Total Environment*, 703, 134399.

- Allen, J., Ramsden, M., Nisar, S. (2024). Skeletal muscle structure, function and pathology. *Orthopaedics and Trauma*.
- Attia, Y. A., Al-harhi, M. A., Abo El-maaty, H. M. (2020) The effects of different oil sources on performance, digestive enzymes, carcass traits, biochemical, immunological, antioxidant, and morphometric responses of broiler chicks. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 181.
- Awerman, J. L., Romero, L. M, 2010. Chronic psychological stress alters body weight and blood chemistry in European starlings (*Sturnus vulgaris*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 156(1), p.136-142.
- Beard, N. A., Dulhunty, A. F. (2015). C-terminal residues of skeletal muscle calsequestrin are essential for calcium binding and for skeletal ryanodine receptor inhibition. *Skeletal muscle*, 5, 1-12.
- Bin-jumah, M., Abd El-hack, Me, Abdelnour, Sa, Hendy, Ya, Ghanem, Ha, Alsafy, Sa, Aleya, L. (2020). Uso potencial de cromo para combater o estresse térmico em animais: Uma revisão. *Science of the Total Environment*, 707, 135996.
- Boonlaos, A., Uddin, M. J., Temyord, K., Jattawa, D., Kayan, A. (2023). Muscle fiber characteristics and expression level of Troponin T3, Toll-like receptor 2, and Toll-like receptor 4 genes in chicken meat with white striping. *Veterinary World*, 16(7), 1415.
- Bowslaugh, J., Glittings, W., Vandenboom, R. Myosin light chain phosphorylation is required for peak power output of mouse fast skeletal muscle in vitro. *Pflügers Archiv-European Journal of Physiology*, 468, 2007-2016, 2016.
- Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2) 248-254.
- Carneiro, C. R., Alhaji, A. M., Da Silva, C. A. S., De Sousa, R. D. C. S., Monteiro, S., Coimbra, J. S. D. R. (2023). Potential challenges of the extraction of carotenoids and fatty acids from Pequi (*Caryocar brasiliense*) oil. *Foods*, 12, (9), p.1907.
- Cedran, M. F., Rodrigues, F. J., Sato, H. H., Bicas, J. L. (2022). Optimization of a water-in-oil emulsion containing *Limosilactobacillus reuteri*: Applicability of pequi oil as a continuous phase. *Current Research in Biotechnology*, 4, p.318-325.
- Chen, B., Wang, Y., Hou, D., Zhang, Y., Zhang, B., Niu, Y., Li, Z, 2023. Transcriptome-based identification of the muscle tissue-specific expression gene CKM and its regulation of proliferation, apoptosis and differentiation in chicken primary myoblasts. *Animals*, 13(14), 2316.
- Cheng, A. J., Ström, J., Hwee, D. T., Malik, F. I., Westerblad, H. (2020). Fast skeletal muscle troponin activator CK-2066260 mitigates skeletal muscle weakness independently of the underlying cause. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 11(6), 1747-1757.

- Chodkowska, K. A., Barszcz, M., Tuśnio, A. (2024). MicroRNA expression and oxidative stress markers in pectoral muscle of broiler chickens fed diets supplemented with phytobiotics composition. *Scientific Reports*, 14(1), 4413.
- Cruvinel, J. M. Óleo de pequi (*Caryocar brasiliense* camb.) na alimentação de frangos de corte. Tese (Doutorado), Programa de Pós-graduação em Zootecnia, p.25, 2021.
- Cruvinel, J. M., Groff Urayama, P. M., Oura, C. Y., De Lima Krenchinski, F. K., Dos Santos, T. S., De Souza, B. A., Pezzato, A. C. (2023). Pequi oil (*caryocar brasiliense* camb.) attenuates the adverse effects of cyclical heat stress and modulates the oxidative stress-related genes in broiler chickens. *Animals*, 13(12), 1896.
- Da silva, J., Andrade, L., Rodrigues, P., Cordeiro, L., Lima, G., Lopes, J., Castillo, E., Martins, R., Assunção, A., Vieira, J., Busalaf, M., Adamec, J., Sartori, J., Padilha, P., 2024. Plasma Proteome Alterations of Laying Hens Subjected to Heat Stress and Fed a Diet Supplemented with Pequi Oil (*Caryocar brasiliense* Camb.): New Insights in the Identification of Heat Stress Biomarkers. *Biomolecules*, v.14, n.11, p.1424.
- De Almeida Assunção, A. S., Martins, R. A., Vieira, J. C. S., Rocha, L. C., De Lima Krenchinski, F. K., Buzalaf, M. A. R., De Magalhães Padilha, P. (2023). Shotgun proteomics reveals changes in the Pectoralis major muscle of broilers supplemented with passion fruit seed oil under cyclic heat stress conditions. *Food Research International*, 167, 112731.
- De Luan, Q., Chang, G. B., Zhen, T., Huang, Z. Y., Zhou, W., Liu, Y., Chen, G. H. (2011). Analysis on differentially expressed genes of muscle tissues in Rugao chicken at the ages of 2 and 12 weeks by microarray. *The Thai Journal of Veterinary Medicine*, 41(3), 299-308.
- Di Luca, A., Bennato, F., Ianni, A., Martino, C., Henry, M., Meleady, P., Martino, G. (2024). Label-free liquid chromatography–mass spectrometry comparison of the breast muscle proteome profiles in two fast-growing broilers. *Scientific Reports*, 14(1), 16886.
- Dzugaj, A. (2006). Localization and regulation of muscle fructose-1, 6-bisphosphatase, the key enzyme of glyconeogenesis. *Advances in Enzyme Regulation*, 46(1), 51-71.
- Fu, W., Duan, Y., Wang, S., Ni, Y., Grossmann, R., Zhao, R., 2014. Comparative proteomic analysis of the breast muscle response to chronic corticosterone administration in broiler chickens showing long or short tonic immobility. *Poultry Science*, 93(4), 784-793.
- Gagaoua, M., Picard, B. (2022). Proteomics to explain and predict meat quality. In *New aspects of meat quality* (p. 393-431). Woodhead Publishing.

- Gittings, W., Bunda, J., Vandenboom, R. (2018). Myosin phosphorylation potentiates steady-state work output without altering contractile economy of mouse fast skeletal muscles. *Journal of Experimental Biology*, 221(2), jeb167742.
- Gizak, A., Duda, P., Wisniewski, J., Rakus, D. (2019). Fructose-1, 6-bisphosphatase: From a glucose metabolism enzyme to multifaceted regulator of a cell fate. *Advances in Biological Regulation*, 72, 41-50.
- Gou, Z. Y., Cui, X. Y., Li, L., Fan, Q. L., Lin, X. J., Wang, Y. B., Jiang, S. Q, 2020. Effects of dietary incorporation of linseed oil with soybean isoflavone on fatty acid profiles and lipid metabolism-related gene expression in breast muscle of chickens. *Animal*, 14(11), 2414-2422.
- Gu, S., Huang, Q., Jie, Y., Sun, C., Wen, C., Yang, N. (2024) Transcriptomic and epigenomic landscapes of muscle growth during the postnatal period of broilers. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 15(1), 91.
- Guerra, I. C., De Sousa, T. L., De Farias, P. M., Cappato, L. P., De Freitas, B. S. M., Romani, V. P., Plácido, G. R. (2023). Films and coatings from pequi mesocarp incorporated with nano-ZnO: Properties and capacity to increase mango shelf life. *Industrial Crops and Products*, v.195, p.116414.
- He, F., Antonucci, L., Karin, M. (2020). NRF2 as a regulator of cell metabolism and inflammation in cancer. *Carcinogenesis*, 41(4), 405-416.
- Hossain, M. E., Akter, N., Bhowmik, P., Islam, M. S., Sultan, M. N., Islam, S. (2023). Animal protein-soybean oil-based broiler diet optimizes net profit at the expense of desirable ω -6 fatty acids from the breast muscle of the broiler chicken. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 107(5), 1216-1240,2023.
- Huang, C., Hou, C., Ijaz, M., Yan, T., Li, X., Li, Y., Zhang, D. (2020). Proteomics discovery of protein biomarkers linked to meat quality traits in post-mortem muscles: Current trends and future prospects: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 105, 416-432.
- Huo, W., Weng, K., Li, Y., Zhang, Y., Zhang, Y., Xu, Q., Chen, G. (2022). Comparison of muscle fiber characteristics and glycolytic potential between slow-and fast-growing broilers. *Poultry Science*, 101(3), 101649.
- Ji, H., Wang, J., Guo, J., Li, Y., Lian, S., Guo, W., LIU, Y. (2016). Progress in the biological function of alpha-enolase. *Animal Nutrition*, 2(1), 12-17.
- Jiao, H., Zhou, K., Zhao, J., Wang, X., Lin, H. (2018). A high-caloric diet rich in soy oil alleviates oxidative damage of skeletal muscles induced by dexamethasone in chickens. *Redox Report*, 23(1), p.68-82.
- Jimenez-moya, B., Barroeta, A. C., Guardiola, F., Soler, M. D., Rodriguez-sanchez, R., Sala, R. (2021). Replacement of palm oil with soybean acid oil in broiler chicken diet: fat digestibility and lipid class content along the intestinal tract. *Animals*,11(9), p.2586.

- Kim, D. Y., Kim, J. H., Choi, W. J., Han, G. P., Kil, D. Y. (2021). Comparative effects of dietary functional nutrients on growth performance, meat quality, immune responses, and stress biomarkers in broiler chickens raised under heat stress conditions. *Animal Bioscience*, 34(11), 1839.
- Lamri, M., Della Malva, A., Djenane, D., López-pedrouso, M., Franco, D., Albenzio, M., Gagaoua, M. (2023). Towards the discovery of goat meat quality biomarkers using label-free proteomics. *Journal of Proteomics*, 278, 104868.
- Lee, S., Jo, K., Jeong, H. G., Park, J. I., Yong, H. I., Choi, Y. S., Jung, S. (2023). Higher protein digestibility of chicken thigh than breast muscle in an in vitro elderly digestion model. *Food Science of Animal Resources*, v.43, n.2, p.305, .
- Lewandowski, S. L., Cardone, R. L., Foster, H. R., HO, T., Potapenko, E., Poudel, C., Merrins, M. J. (2020). Pyruvate kinase controls signal strength in the insulin secretory pathway. *Cell Metabolism*, 32(5), 736-750.
- Madeira, L. A., Sartori, J. R., Saldanha, É. S. P. B., Pizzolante, C. C., Silva, M. D. P., Mendes, A. A., Solarte, W. V. N. (2006). Morphology of skeletal muscle fibers of different broiler chicken strains bred in confined and semi-confined systems. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35, p.2322-2332.
- Malila, Y., Uengwetwanit, T., Sanpinit, P., Songyou, W., Srimarut, Y., Kunhareang, S. (2023). Thermal impacts on transcriptome of Pectoralis major muscle collected from commercial broilers, Thai native chickens and its crossbreeds. *Animal Bioscience*, 37(1), p.61.
- Métayer-coustard, S., Tesseraud, S., Praud, C., Royer, D., Bordeau, T., Coudert, E., Berri, C. (2021). Early growth and protein-energy metabolism in chicken lines divergently selected on ultimate pH. *Frontiers in Physiology*, 12, 643580.
- Mishra, B., Jha, R. (2019). Oxidative stress in the poultry gut: Potential challenges and interventions. *Frontiers in Veterinary Science*, 6, 60.
- Moreno, L. G., César, N. R., Melo, D. S., Figueiró, M. T. O., Dos Santos, E. C., Evangelista-silva, P. H., Esteves, E. A. (2024). A MUFA/carotenoid-rich oil ameliorated insulin resistance by improving inflammation and oxidative stress in obese rats. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 581, 112110.
- Musigwa, S., Morgan, N., Swick, R. A., Cozannet, P., Kheravii, S. K., Wu, S. B. (2021). Multi-carbohydrase enzymes improve feed energy in broiler diets containing standard or low crude protein. *Animal Nutrition*, 7(2), p.496-505.
- Nawaz, A. H., Amoah, K., Leng, Q. Y., Zheng, J. H., Zhang, W. L. Zhang, L. (2021). Poultry response to heat stress: Its physiological, metabolic, and genetic implications on meat production and quality including strategies to improve broiler production in a warming world. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 699081.
- Ogut, O., Granzier, H., Jin, J. P. (1999). Acidic and basic troponin T isoforms in mature fast-twitch skeletal muscle and effect on contractility. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 276(5), C1162-C1170.

- Ramos-souza, C., Nass, P., Jacob-lobes, E., Zepka, L. Q., Braga, A. R. C., De Rosso, V. V. (2023). Changing Desplicable Me: Potential replacement of azo dye yellow tartrazine for pequi carotenoids employing ionic liquids as high-performance extractors. *Food Research International*, 174, p.113593.
- Rasmussen, M., Jin, J. P. (2021). Troponin variants as markers of skeletal muscle health and diseases. *Frontiers in Physiology*, 12, 747214.
- Ribeiro, R. F., Fernandes, A. A., Meira, E. F., Batista, P. R., Magalhães Siman, F. D., Vassallo, D. V., Stefanon, I. (2010). Soybean oil increases SERCA2a expression and left ventricular contractility in rats without change in arterial blood pressure. *Lipids in Health and Disease*, 9, 1-6.
- Roll, M. M., Miranda-vilela, A. L., Longo, J. P. F., Agostini-costa, T. D. S., Grisolia, C. K. (2018). The pequi pulp oil (*Caryocar brasiliense* Camb.) provides protection against aging-related anemia, inflammation and oxidative stress in Swiss mice, especially in females. *Genetics and Molecular Biology*, 41, 858-869.
- Rostagno, H. S., Albino, L. F. T.; Donzele, J. L.; Gomes, P. C.; Oliveira, R. F.; Lopes, D. C.; Ferreira, A. S.; Barreto, S. L. T. (2017). *Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais*. Viçosa: Departamento de Zootecnia, 4.ed. UFV, 488 p.
- Saleh, A. A., Alharthi, A. S., Alhotan, R. A., ATTA, M. S., Abdel-moneim, A. M. E. (2021). Soybean oil replacement by poultry fat in broiler diets: Performance, nutrient digestibility, plasma lipid profile and muscle fatty acids content. *Animals*, 11(9), 2609.
- Saneyasu, T., Kimura, S., Inui, M., Yoshimoto, Y., Honda, K., Kamisoyama, H. (2015). Differences in the expression of genes involved in skeletal muscle proteolysis between broiler and layer chicks during food deprivation. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 186, 36-42.
- Schiaffino, S., Rossi, A. C., Smerdu, V., Leinwand, L. A., Reggiani, C. (2015). Developmental myosins: expression patterns and functional significance. *Skeletal Muscle*, 5, 1-14.
- Schilling, M. W., Suman, S. P., Zhang, X., Nair, M. N., Desai, M. A., Cai, K., Allen, P. J. (2017). Proteomic approach to characterize biochemistry of meat quality defects. *Meat Science*, 132, 131-138.
- Sies, H. (2015). Estresse oxidativo: um conceito em biologia redox e medicina. *Biologia Redox*, 4, 180-183.
- Silva, V. R., Pinheiro, A. C., Ombredane, A. S., Martins, N. O., Luz, G. V., Carneiro, M. L., Joanitti, G. A. (2023). Anti-Inflammatory Activity of Pequi Oil (*Caryocar brasiliense*). *Pharmaceuticals*, 17(1), 11, 2023.

- Sural, P. F.; Kochish, I. I.; Fisinin, V. I.; Kidd, M. T. (2019). Antioxidant defence systems and oxidative stress in poultry biology: An update. *Antioxidants*, 8(7), p.235. <https://doi.org/10.3390/antiox8070235>
- Tai, P. W., Fisher-aylor, K. I., Himeda, C. L., Smith, C. L., Mackenzie, A. P., Helterline, D. L., Hauschka, S. D. (2011). Differentiation and fiber type-specific activity of a muscle creatine kinase intronic enhancer. *Skeletal Muscle*, 1, 1-19.
- Torres, L. R. O., Santana, F. C., Shinagawa, F. B. Mancini-filho, J. (2018). Bioactive compounds and functional potential of pequi (*Caryocar spp.*), a native Brazilian fruit: a review. *Grasas y Aceites*, 69(2), e257-e257.
- Ubiparip, Z., De Doncker, M., Beerens, K., Franceus, J., Desmet, T. (2021). β -Glucan phosphorylases in carbohydrate synthesis. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105(10), 4073-4087.
- Uyanga, Va, Musa, Th, Oke, Oe, Zhao, J., Wang, X., Jiao, H., Lin, H. (2023). Tendências globais e fronteiras de pesquisa sobre estresse por calor em aves de 2000 a 2021: Uma análise bibliométrica. *Frontiers in Physiology*, 14, 1123582.
- Wang, S., Ni, Y., Guo, F., Fu, W., Grossmann, R., Zhao, R, 2013. Effect of corticosterone on growth and welfare of broiler chickens showing long or short tonic immobility. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 164(3), 537-543.
- Young, R. A., Elliott, T. J. (1989). Stress proteins, infection, and immune surveillance. *Cell*, 59(1), 5-8.
- Zeng, T., Cao, Y., Gu, T., Chen, L., Tian, Y., Li, G., Lu, L. (2021). Alpha-enolase protects hepatocyte against heat stress through focal adhesion kinase-mediated phosphatidylinositol 3-kinase/akt pathway. *Frontiers in Genetics*, 12, 693780.
- Zhai, W., Araujo, L. F., Burgess, S. C., Cooksey, A. M., Pendarvis, K., Mercier, Y., Corzo, A. (2012). Protein expression in pectoral skeletal muscle of chickens as influenced by dietary methionine. *Poultry Science*, 91(10), 2548-2555.
- Zhang, X., Antonelo, D. S., Hendrix, J. D., To, V., Campbell, Y. L., Von Staden, M., Schilling, M. W. (2020). Proteomic characterization of normal and woody breast meat from broilers of five genetic strains. *Meat Muscle Biol.*, 4(1): 9, 1-17.
- Zhang, Z. Y., Jia, G. Q., Zuo, J. J., Zhang, Y., Lei, J., Ren, L., Feng, D. Y, 2012. Effects of constant and cyclic heat stress on muscle metabolism and meat quality of broiler breast fillet and thigh meat. *Poultry Science*, 91(11), 2931-2937.

IMPLICAÇÕES

Os aditivos para rações na avicultura são comumente e grandemente utilizados a nível mundial. Observando o cenário, a avicultura inteligente e atual está sempre evoluindo, tendo em vista que atualmente, possuímos mais precisão e melhor utilização dos ingredientes ao nosso alcance. É de fundamental relevância relatar que o aditivo fitogênico, além de natural possui consideráveis benefícios como a melhora do desempenho animal, saúde e obtenção da qualidade de produtos de origem animal, será necessária a inovação substancial de certas tecnologias para atender à crescente demanda da indústria e a sensibilização dos consumidores com produtos amigáveis no meio ambiente.

A tendência da produção animal vem considerando o bem-estar animal e o histórico do manejo de produto para alternativas mais naturais e não residuais, visando alguns produtos que contêm grande potencial de danos ao ambiente, e são as principais preocupações que ditam as alternativas valiosas com produtos naturais para alimentação animal. Essas escolhas de aditivos alimentares fitogênicos são apoiadas por pesquisas científicas, com uma trajetória positiva através dos dados publicados.

O Brasil é um país tropical, e possui o fruto do pequi que é nativo da biodiversidade do cerrado brasileiro. Buscando atender a resolução da problemática com o estresse térmico, elegeu-se o óleo de Pequi, extraído de forma artesanal, apresenta compostos bioativos com potencial antioxidante e que auxilia na melhoria da saúde tanto em pesquisas humanas, como em animais.

A adição do óleo de pequi sucedeu-se em dois cenários, foram desafiados através de estresse térmico e termo- neutralidade sem suplementação e com suplementação, sendo essas (0% e 0.6%), em síntese promoveu melhora na saúde global, baixando a glicose sanguínea, o que auxilia potencialmente na fisiologia da ave em situações estressantes. Entretanto observou-se que o uso do óleo de pequi na dieta não apresentou efeito algum na qualidade da carne, atividade das enzimas antioxidantes e oxidação do músculo. Levando em consideração o óleo de pequi como um produto destinado a saúde global das aves, visando contribuir com o bem-estar animal para atender as demandas dos consumidores.

Como apresentado anteriormente, levando-se em consideração que o Brasil está entre um dos maiores produtores de frangos de corte a nível mundial, estamos sempre

envolvidos na utilização de tecnologias da produção e na procura de pesquisas para evoluir e acrescentar na indústria avícola, e em como se aprofundar em ciências como a, biotecnologia para a nutrição animal, buscando atender os problemas do estresse térmico. Deste modo poderemos contribuir tanto com os produtores de grande escala, como os de escala menor, atendendo a produtividade com a utilização dos dados da pesquisa colocados em prática.

Portanto, o uso de produtos aditivos fitogênicos como por exemplo o óleo de pequi, pode ajudar no crescimento do setor produtivo e se tornar um produto comercial, além de promover e dar maior valor na produção desse óleo nas comunidades, aumentando a renda familiar.