

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

GRACIELE DALISE SCHIRMANN

**MODELAGEM DO DESEMPENHO EM FRANGOS DE CORTE EM
ESTRESSE POR CALOR**

Porto Alegre,
2020

GRACIELE DALISE SCHIRMANN

**MODELAGEM DO DESEMPENHO EM FRANGOS DE CORTE EM
ESTRESSE POR CALOR**

Tese apresentada como requisito para
obtenção do Grau de Doutor em Zootecnia, na
Faculdade de Agronomia, da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul

**Orientador: Dr^a. Andréa Machado Leal
Ribeiro**

Coorientador: Dr^a. Ines Andretta

Porto Alegre
2020

CIP - Catalogação na Publicação

Schirmann, Graciele Dalise
Modelagem do desempenho em frangos de corte em
estresse por calor / Graciele Dalise Schirmann. --
2020.

81 f.

Orientador: Andréa Machado Leal Ribeiro.

Coorientador: Ines Andretta.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2020.

1. Meta-análise, modelagem . 2. Frangos de corte.
3. Equações de predição. 4. Estresse por calor. I.
Machado Leal Ribeiro, Andréa, orient. II. Andretta,
Ines, coorient. III. Título.

Graciele Dalise Schirmann
Mestre em Zootecnia

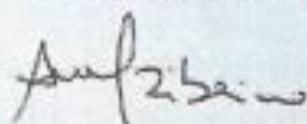
TESE

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

DOUTORA EM ZOOTECNIA

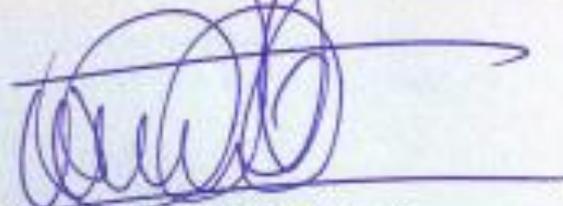
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovada em: 31.03.2020
Pela Banca Examinadora

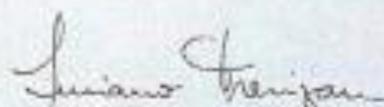


ANDRÉA MACHADO LEAL RIBEIRO
PPG Zootecnia/UFRGS
Orientadora

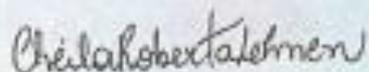
Homologado em: 20/05/2020
Por



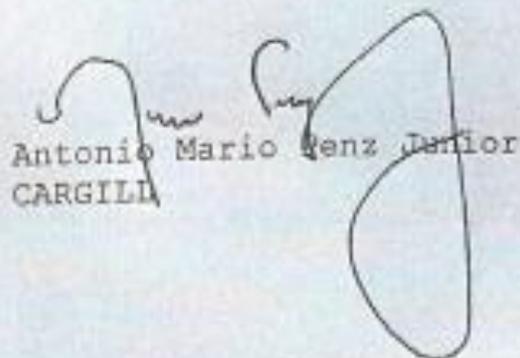
DANILO PEDRO STREIT JR.
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia



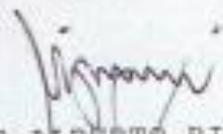
Luciano Trevizan
UFRGS



Cheila Roberta Lehnen
UEPG



Antonio Mario Benz Junior
CARGILL



CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de Agronomia

DEDICO
À minha família, pela educação e persistência nos meus sonhos.
Esse título é para vocês.

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo apoio, amor, carinho e acolhimento em todos os momentos desta jornada. Por encurtar a distância e a saudade por meio de telefonemas diários e carregados de esperança e amor. Meu suporte em todos os momentos.

À minha orientadora Andréa Machado Leal Ribeiro e a minha coorientadora Ines Andretta, pelo suporte para a realização desta tese.

Ao professor Luciano Trevizan, por estar sempre disponível para ajudar e sanar as dúvidas surgidas nas diferentes situações dentro e fora do laboratório.

Aos funcionários do Lezo, por toda a ajuda nos trabalhos a campo nestes 4 anos.

Aos estagiários do Lezo, os quais tive a grata oportunidade de “ser responsável” por 1 ano e 5 meses. Agradeço pela oportunidade de conviver com todos vocês, foi uma fase de muito aprendizado e de crescimento pessoal e profissional.

Ao Willian, Danrlei, Mariana, Carol Schell e Carol Dourado, pela amizade incondicional, pelo apoio nas mais variadas situações, e pelo chimarrão rodeado de risadas e companheirismo. Vocês foram minha família nestes 4 anos em Porto Alegre. Vou levar essa amizade pela vida toda.

A todos os pesquisadores, dos quais utilizei os trabalhos que tornaram possível a construção desta tese.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo concedida.

MODELAGEM DO DESEMPENHO EM FRANGOS DE CORTE EM ESTRESSE POR CALOR ¹

Autora: Graciele Dalise Schirmann

Orientador: Dr^a Andrea Machado Leal Ribeiro

Coorientador: Dr^a Ines Andretta

Resumo: O presente estudo teve como objetivos desenvolver equações de predição para a variação no desempenho em frangos de corte submetidos ao estresse por calor, analisar a influência do tipo de estresse à que as aves são submetidas, e demonstrar o grau de correlação entre o balanço eletrolítico da dieta e o calor, utilizando a ferramenta de meta-análise. Foram construídas duas bases de dados independentes contendo informações de desempenho e estresse por calor em frangos de corte; a primeira referente à fase inicial de criação (1 a 21 dias) e a segunda para a fase de crescimento e terminação (após 21 dias). Para compor a base de dados da fase inicial foram utilizados 14 artigos e 7.667 animais, de estudos realizados entre os anos de 2001 e 2018. Enquanto para a base de dados após 21 dias de idade foram tabulados 74 artigos, com um total de 25.145 frangos de corte, de estudos entre 1983 e 2018. Os principais critérios para a seleção dos artigos foram: (1) experimentos usando no mínimo duas temperaturas (termoneutra e alta temperatura); (2) conter respostas de desempenho (consumo, ganho de peso e conversão alimentar); (3) alimento e água fornecidos *ad libitum* durante o período experimental; (4) conter características do animal (sexo, linhagem, fase de criação, idade inicial e final). Em ambas as bases de dados foram classificados dois tipos de estresse: cíclico e constante. Os modelos de predição foram validados utilizando duas bases de dados independentes das primeiras, com informações de dissertações e teses publicadas a partir de julho de 2018. Para a validação na fase inicial (1 a 21 dias) e final foram utilizadas 171 e 169 observações, respectivamente. As equações de predição foram apresentadas em porcentagem e gramas e geradas para ganho de peso de 1 a 21 dias e para consumo de ração e ganho de peso após 21 dias. O estresse por calor não influenciou o consumo de alimentos na fase inicial (1 a 21 dias), bem como a conversão alimentar em nenhuma fase de criação, não sendo possível a construção de equações de predição para estas variáveis nas respectivas fases. O estresse por calor constante mostrou-se mais deletério ao desempenho do que o cíclico em frangos

¹Tese de Doutorado em Zootecnia - Produção Animal, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (81 p.) Março, 2020.

após 21 dias, mas na fase inicial os tipos de estresse não se diferenciaram significativamente. A relação entre o balanço eletrolítico da dieta e o desempenho em aves em estresse pelo calor foi estudada para aves a partir dos 21 dias de idade, tendo sido observada uma baixa correlação entre estas variáveis. Conclui-se que o estresse por calor afeta de forma mais aguda os frangos de corte após 21 dias, embora a conversão alimentar não seja afetada o consumo de ração é a variável mais importante no estresse por calor e que a relação entre o balanço eletrolítico da dieta e as altas temperaturas é muito pequena ou inexistente.

Palavras-chave: aves; estresse por calor; meta-análise; equações de predição; balanço eletrolítico.

PERFORMANCE MODELING OF BROILERS UNDER HEAT STRESS ¹

Author: Graciele Dalise Schirmann

Advisor: Dr^a Andrea Machado Leal Ribeiro

Co-advisor: Dr^a Ines Andretta

Abstract: The present study aimed to develop prediction equations for the performance variation of broilers submitted to heat stress, analyze the influence of the type of stress that the broilers are submitted and demonstrate the degree of correlation between the electrolytic balance of the diet and the heat stress, using the meta-analysis tool. Two independent databases containing information of performance and heat stress in broilers were developed; the first one refers to the initial phase (1 to 21 days) and the second one refers to the growing and finishing phase (over 21 days). In order to compose the database of the initial phase 14 articles and 7667 animals from studies performed between the years of 2001 and 2008 were used. For the database over 21 days of age it was used 74 articles between 1983 and 2018 with a total of 25145 broilers. The main criteria for the articles selection were (1) experiments using two temperatures (thermo neutral and high temperature); (2) the presence of performance responses (intake, weight gain and feed conversion); (3) food and water *ad libitum* during the experimental period; (4) information about the animals characteristics (sex, bloodlines, growing phase, initial and final age). Both databases were classified in two types of stress: cyclic and constant stress. The prediction models were validated using two independent databases not related to the first ones, with information of dissertations and thesis published since July, 2018. For the validation of the initial (1 to 21 days) and final phase, 171 and 169 observations were used, respectively. The prediction equations were presented in percentage and grams and it were generated for weight gain from 1 to 21 days and for ration intake and weight gain over 21 days. The heat stress did not influenced the feed intake in the initial phase (1 to 21 days), as well as the feed conversion in any of the growing phases, not being possible the construction of prediction equations for these variables in the respective phases. The constant heat stress showed to be more negative than the cyclic heat stress to the performance of broilers after 21 days of age, but in the initial phase these types of stress did not differ significantly. The relation between the electrolytic balance of the diet and the performance in broilers under heat stress was analyzed considering broilers over 21 days of age, being observed a weak correlation between these

¹Doctoral thesis in Animal Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (81 p.) March, 2020.

variables. It was concluded that the heat stress affects more the broilers over 21 days, although the feed conversion is not affected. The ration intake is the most important variable during the heat stress and the relation between the electrolytic balance of the diet and the high temperatures is too low or inexistent.

Keywords: broilers; electrolytic balance; heat stress; meta-analysis; prediction equations.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	9
1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 Entraves na produção de frangos	12
2.2 Temperatura e umidade no desempenho de frangos de corte	12
2.3 Homeotermia em frangos de corte	14
2.4 Respostas hormonais ao estresse	15
2.5 Tipos de estresse térmico	17
2.6 Mecanismos de regulação de temperatura	19
2.6.1 Exposição a ambientes frios	19
2.6.2 Exposição a ambientes quentes	21
2.7 Balanço eletrolítico e estresse por calor	22
2.8 Nutrição no controle de perdas relacionadas ao estresse por calor	23
2.8.1 Manejo da água de bebida	24
2.8.2 Energia, gordura e proteína bruta na dieta	25
2.9 Meta-análise e modelagem na pesquisa animal	26
3. HIPÓTESES E OBJETIVOS	29
CAPÍTULO II	30
Performance modeling of broilers under heat stress	32
Abstract	33
Introduction.....	34
Material and Methods.....	35
Results	40
Discussion	43
Conclusions.....	48
References	49
CAPÍTULO III	68
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
5. VITA	81

RELAÇÃO DE TABELAS

Table 1. Performance variation ($\Delta\%$) of broilers in heat stress condition.....	54
Table 2. Prediction equations on performance variation in broiler at heat stress 1 to 21 days.....	55
Table 3. Prediction equations on performance variation in broiler at heat stress after 21 days.....	56
Table 4. Agreement between the feed intake (FI) and weight gain (WG) variation estimated by the empirical models and the observed values in heat stress broilers.....	57
Table 5. Correlations between electrolyte balance and the performance of broilers in heat stress after 21 days old	58

MATERIAL COMPLEMENTAR

Table 6. Description of database used in the meta-analysis 1 to 21 days of broilers.....	62
Table 7. Description of database used in the meta-analysis after 21 days old of broilers.....	63
Table 8. Prediction equations (g/day) on performance variation in broiler at heat stress 1 to 21 days.....	65
Table 9. Prediction equations (g/day) on performance variation in broiler at heat stress after 21 days.....	66
Table 10. Agreement between the feed intake (FI) and weight gain (WG) variation estimated by the empirical models and the observed values in heat stress broilers.....	67

RELAÇÃO DE FIGURAS

Figure 1. Meta-design: within-experiment temperature and age in days in broiler. Each experiment is indicated by a cross, of which the horizontal line indicates the age, and the vertical line indicates the ambient temperature.59

Figure 2. Performance variation (Δ) responses of heat stress treatments relativized to the respective control treatment in the database in 1 to 21 days (A and B) and after 21 days (C and D). Cyclic heat stress is represented by white circles ($^{\circ}$) and constant heat stress is represented by black circles (\bullet) in both database.....60

Figure 3. Relationship between weight gain variation (Δ WG) and feed intake variation (Δ FI) of broilers in heat stress condition at 1 to 21 days (A) and after 21 days old (B)...61

RELAÇÃO DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
%	Porcentagem
Bel	Balanço eletrolítico
mEq	Miliequivalente
kg	Quilograma
Na	Sódio
K	Potássio
Cl	Cloro
CRF	Hormônio Liberador de Corticotrofina
T3	Triiodotironina
T4	Tiroxina
pH	Potencial de Hidrogênio
HCO ₃ ⁻	Bicarbonato
CO ₂	Dióxido de carbono
KCl	Cloreto de potássio
NaHCO ₃	Bicarbonato de sódio
min	minutos
kJ	Kilojoule

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

O aumento do potencial produtivo observado na avicultura ocorre pelo emprego de técnicas modernas de produção. Porém alguns fatores ainda precisam ser melhores entendidos para garantir o máximo potencial desta atividade. A temperatura e a umidade relativa do ar têm grande influência no bem-estar de frangos de corte e a combinação destas duas variáveis ambientais em níveis elevados causa graves prejuízos no desempenho das aves, especialmente em situações em que estas estiverem altas. Nestas condições, a transmissão de calor entre os tecidos mais profundos para os mais periféricos do corpo do animal é prejudicada (LIN et al., 2005b), contribuindo para o aumento do estresse por calor (XIONG et al., 2017) e desencadeando graves prejuízos ao animal.

Aves são animais homeotérmicos e regulam a temperatura corporal para que a mesma se mantenha constante. Em ambientes quentes, a exposição prolongada pode levar a desequilíbrios e afetar a relação ácido-base destes animais. Como meio de manter o equilíbrio ácido básico e reduzir as perdas ocasionadas pelo aumento da temperatura, medidas nutricionais voltadas ao balanço eletrolítico foram amplamente estudadas (BORGES et al., 2003a; BORGES et al., 2003b; BORGES et al., 2004a; BORGES et al., 2004b), sempre tendo como base o nível de 250 mEq/kg de dieta, indicado em 1981 por Mongin (Mongin, 1981).

A quantidade de estudos mostrando que o desempenho é afetado quando os animais são expostos a variações na temperatura é ampla e envolve os tipos de estresse por calor a que o animal pode ser submetido (SANDS and SMITH, 1999; BARTLETT and SMITH, 2003, LAGANÁ et al., 2007a, QUINTEIRO-FILHO et al., 2010; QUINTEIRO-FILHO et al., 2012; SOUZA et al., 2016, LIU et al., 2016). Porém ainda não há respostas sobre o desempenho frente às variações de temperatura e o impacto dessas variações quantificado em perdas pelos animais.

Neste contexto, a meta-análise surge como uma ferramenta capaz de avaliar de forma sistemática estudos anteriores e a partir disso expandir e até mesmo tirar novas conclusões sobre os estudos, podendo incluir uma estimativa mais precisa dos resultados, ou até mesmo formular hipóteses que não seriam possíveis de serem feitas nos estudos realizados de forma individual (LEAN et al, 2009), já que esta ferramenta permite obter uma visão global dos dados experimentais (LOVATTO et al., 2007).

Desta forma, o presente trabalho teve por objetivos desenvolver equações que predigam a variação no desempenho em frangos de corte nas fases inicial e final de criação submetidos a estresse térmico, determinar a influência do tipo de estresse (constante ou cíclico) no desempenho de frangos de corte expostos a altas temperaturas e demonstrar o grau de correlação entre o balanço eletrolítico da dieta e o estresse por calor no desempenho em frangos de cortes, utilizando a ferramenta de meta-análise.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Entraves na produção de frangos

Conhecida mundialmente, a carne de frango destaca-se por ser fonte de proteína animal de alto valor nutritivo, economicamente acessível quando comparada às demais carnes produzidas. E para que se tenha um produto final que atenda às necessidades do consumidor em curto período de tempo, cuidados no que tange a sanidade, nutrição, genética e manejo necessitam ser constantemente monitorados.

O rápido crescimento para produção de carne é um dos pontos positivos da cadeia avícola, uma vez que, em média, aos 42 dias de idade as aves podem ser abatidas e destinadas ao consumo, diferentemente do que ocorre em outras espécies de produção, em que o período até o abate é maior. Porém os sistemas respiratório e cardiovascular não conseguiram acompanhar o rápido desenvolvimento corporal destes animais (HAVENSTEIN; FERKET and QUARESHI, 2003), e essas diferenças no alinhamento entre os diferentes sistemas fisiológicos pode ser um dos grandes entraves de produção deste setor.

Em frangos de corte expostos a altas temperaturas, a primeira resposta do animal é a redução na ingestão de alimento no intuito de manter equilibrada a produção e perda de calor corporal. Quando o animal não consegue manter esse equilíbrio, não somente o consumo, mas também o ganho de peso e a eficiência alimentar são afetados em condições de exposição a altas temperaturas (AZAD et al., 2010).

Além do desempenho, características relacionadas a qualidade da carne (SONG and KING, 2015), características de carcaça como menor rendimento de peito e peso de coxa (DAI et al., 2011), maior proporção de gordura e menor proporção de proteína no músculo do peito (ZHANG et al., 2012) também são observadas em virtude da elevação na temperatura nos locais de criação.

2.2 Temperatura e umidade no desempenho de frangos de corte

Entre os fatores ambientais responsáveis pela queda de produção, a temperatura e a umidade relativa do ar são os que mais se destacam quando se trata

da influência de efeitos térmicos em relação ao bem-estar e produção na cadeia avícola. A combinação destas duas variáveis ambientais em níveis elevados causa graves prejuízos no desempenho das aves. Estes dois fatores quando estão acima do que se entende como conforto térmico dificultam perda de calor corporal para o meio ambiente (SOREN et al., 2012). Em casos extremos essa combinação pode levar os animais à morte, especialmente se eles forem pesados (SUGANYA, et al., 2015). Em situações em que a temperatura ambiente estiver alta e a umidade do ar baixa, os prejuízos no desempenho dos animais serão menores (DAGHIR, 2009), já em situações em que estas duas variáveis estiverem altas, certamente haverá prejuízos aos animais.

Quando as aves estão em condição de estresse por calor uma das primeiras alterações no metabolismo dos animais é a transmissão do calor do centro do corpo para os tecidos periféricos para que possa ser dispersado para o ambiente. Porém, em situações em que além da temperatura, a umidade do ambiente também estiver elevada, a transmissão de calor entre os tecidos mais profundos para os mais periféricos do corpo do animal é prejudicada (LIN et al., 2005b), contribuindo para o aumento do estresse por calor (XIONG et al., 2017).

Essa transmissão de calor entre os tecidos centrais e periféricos se torna fundamental em animais adultos, pois estes precisam diminuir o calor gerado em seu corpo. Em animais com 4 semanas de idade, umidade acima de 60% em conjunto com alta temperatura (35°C) prejudicou a transmissão do calor para os tecidos periféricos das aves (LIN et al., 2005b) e conseqüente troca com o ambiente. Esse calor que não consegue ser dissipado para o ambiente pode gerar transtornos no bem-estar e desempenho das aves. Yahav et al. (1995) encontraram máximo consumo e ganho de peso em animais de 5 a 8 semanas de idade em temperatura de 35°C com a umidade relativa entre 60 a 65%. Porém, com o aumento da umidade relativa acima de 65% as variáveis de desempenho foram prejudicadas.

Em situação inversa, frangos de corte jovens necessitam manter calor nos tecidos centrais para garantir o aquecimento do corpo. Em aves com uma semana de idade, Lin et al. (2005a) mostraram que a exposição a diferentes faixas de umidade (35%, 60% e 85%) e temperaturas (35°C, 30°C e 25°C) afetou a termorregulação por haver redistribuição do calor corporal e resultar em aumento na temperatura dos tecidos periféricos. Segundo estes autores, mesmo os animais jovens são afetados quando há oscilação nos níveis de umidade relativa e faixas de

temperatura ambiente. O aumento de calor nos tecidos periféricos resultante destas oscilações não é favorável, uma vez que nestes tecidos o calor pode ser dissipado mais facilmente para o ambiente, o que não é desejado no período da idade inicial, pois os animais precisam reter calor para manter suas funções vitais.

2.3 Homeotermia em frangos de corte

Aves são animais homeotérmicos e por essa característica mantêm a temperatura corporal dentro de limites estreitos. Em frangos de corte, a temperatura corporal é de 41,5°C (COLLIER; GEBREMEDHIN, 2015), com pequena variação entre as faixas de idade. Para manter o corpo aquecido em ambientes frios ou perder calor quando a temperatura ambiente está acima do nível considerado adequado, esses animais recorrem a processos fisiológicos, comportamentais e metabólicos.

Há uma faixa de temperatura em que o animal consegue desempenhar suas funções produtivas sem ser afetado de forma negativa. Esta faixa é conhecida como zona de conforto térmico e está delimitada por uma temperatura crítica superior e uma temperatura crítica inferior (COLLIER et al., 2019), em que o animal não necessita produzir nem perder calor a mais do que suas necessidades metabólicas. Desta forma, o gasto energético para manter o animal na zona de conforto é mínimo. Fora dessa faixa, as aves estão propensas à exposição ao frio ou ao calor, que pode prejudicar de forma direta seu desempenho.

Para RENAUDEAU et al. (2012) a zona de conforto térmico nos animais é alcançada quando os mesmos se encontram em ambiente termoneutro, estando livres de temperaturas extremas, havendo equilíbrio entre a produção e a perda de calor, no intuito de manter a temperatura corporal constante. Fatores comportamentais, bioquímicos e fisiológicos são alterados quando os animais estão fora da zona de conforto térmico (NAZARENO ET AL., 2009). Entre estes, os fatores físicos relacionados ao meio ambiente os mais importantes a serem observados.

Baixas temperaturas impactam o bem-estar das aves, porém em condições saudáveis, os animais conseguem aumentar a geração de calor pelo aumento no consumo de alimento. Por outro lado, a alta temperatura ambiente causa maior prejuízo ao animal quando comparada ao estresse por frio, pois o processo de perda de calor para o meio é menos eficaz do que a manutenção do mesmo pelo organismo. Essa menor capacidade de troca ocorre por razão das aves possuírem

praticamente toda a superfície do corpo coberta de penas, além de não possuírem glândulas sudoríparas, importantes para auxiliar na troca de calor com o meio.

2.4 Respostas hormonais ao estresse

Como outros animais, as aves são constantemente desafiadas a responder aos diversos estímulos que ocorrem ao seu redor. Essa adaptação é vital para os animais e estes estímulos não são necessariamente, considerados como desencadeadores de estresse (COCKREM, 2007). Porém a partir do momento em que mudanças ocorrem neste ambiente são consideradas capazes de colocar em risco sua integridade, estímulos de resposta ao possível agente estressor são ativados pelo animal (COCKREM, 2007). Dentre os possíveis estressores, a variação na temperatura ambiente é caracterizada como um dos principais fatores físicos que desencadeiam estresse nas aves.

Na busca pelo equilíbrio térmico corporal, quando ocorre mudança na temperatura ambiente os animais recorrem ao sistema nervoso central e ao sistema nervoso periférico e componentes endócrinos (hormônios tireoidianos, corticosterona) (CHARMANDARI; TSIGOS; CHROUSOS, 2005) A partir desse ponto, são desencadeadas várias respostas hormonais e neuroendócrinas comandadas por estes sistemas no intuito de manter a termorregulação corporal.

As respostas são divididas em agudas ou de curto prazo, através das quais os animais são preparados para responder de forma rápida à mudança da temperatura ambiente e crônicas, que são desencadeadas e agem a longo prazo, as quais envolvem mecanismos cerebrais neuroendócrinos, imunológicos e metabólicos (EARLEY et al., 2010). O principal eixo responsável por essas respostas é o hipotalâmico-hipofisário-adrenal, conhecido pela função de desencadear as respostas fisiológicas ao estresse. O eixo hipotalâmico-hipofisário-adrenal é regulado pelo fator de liberação de corticotropina, que tem sua produção e liberação por neurônios localizados no núcleo do hipotálamo (VALE et al., 1981). Quando os animais são expostos a situações de estresse, este fator é ativado, e tem como função liberar o hormônio adrenocorticotrófico na circulação. Uma vez liberado na circulação, o hormônio adrenocorticotrófico atinge o córtex renal, onde estimula a síntese e secreção de glicocorticoides (SMITH; VALE, 2006).

Em mamíferos estes glicocorticoides são representados pelo cortisol. Porém em aves são representados pela corticosterona (OSTI; BHATTARAI; ZHOU, 2017), utilizado como indicador em estudos de bem-estar (ALM et al., 2016), através da determinação do momento e do grau de estresse (COCKREM, 2007), pela quantificação dos seus níveis na corrente sanguínea (MORMÈDE et al., 2007). Em situações de estresse aumenta a concentração deste hormônio na circulação e sua detecção tem melhor precisão quando realizada de um a dois minutos após exposição inicial ao agente estressor (ROMERO; REED, 2005).

O aumento dos níveis séricos de corticosterona em aves pode indicar que o animal está sob estresse por calor (OSTI; BHATTARAI; ZHOU, 2017) ou por frio (OLFATI et al., 2018). Quando o eixo hipotálamo-hipófise-adrenal é ativado em resposta ao calor, surgem consequências negativas ao desempenho e à função imunológica, além do desenvolvimento de lesões intestinais, em razão da menor imunidade inata intestinal resultante da ação do estresse por calor agudo (QUINTEIRO-FILHO et al., 2012a).

Os níveis plasmáticos de corticosterona se mantêm elevados em situações de exposição ao estresse agudo, caracterizada por um curto período de tempo. De acordo com MORMEDE et al. (2007), em situações de estresse crônico, a detecção de estresse através da concentração plasmática de corticosterona é dificultada, uma vez que os níveis deste hormônio diminuem após a resposta aguda ao estímulo.

Outro grupo de hormônios envolvidos nas reações desencadeadas por situação de estresse nas aves são as catecolaminas. Em situações em que os animais são expostos ao estresse agudo, o sistema nervoso simpático é ativado e libera epinefrina e norepinefrina (SAPOLSKY; ROMERO; MUNCK, 2000), também conhecidos como adrenalina e noradrenalina. A ação destas catecolaminas se dá de forma rápida, em menos de um minuto (SAPOLSKY; ROMERO; MUNCK, 2000) e desencadeiam a reação conhecida como luta ou fuga, responsável pelo aumento da taxa cardíaca e pressão arterial, além da mobilização de energia para o sistema nervoso central e músculos (DICKENS, M. J.; DELEHANTY, D. J.; ROMERO, L. M., 2010). O suprimento energético ocorre através da liberação de glicose na corrente sanguínea e fornecimento de energia para o cérebro (O'NEILL, 2019).

Após a rápida ação das catecolaminas, ocorre a ação dos glicocorticoides, de forma mais lenta. Como resposta, há redução do consumo alimentar, mediada pelo hormônio liberador de corticotrofina (CRF), o qual tem sua concentração aumentada

em situações de estresse (SAPOLSKY; ROMERO; MUNCK, 2000), e age como mediador do glucagon, apontado como inibidor do apetite em frangos de corte (HONDA et al., 2007).

Os hormônios da tireoide também são de grande importância para a manutenção e constância da temperatura corporal das aves pelo fato de atuarem como reguladores da produção de calor metabólico (DANFORTH; BURGER, 1984). Os principais hormônios tireoidianos envolvidos nessa regulação são a triiodotironina, conhecida como T3 e a tiroxina, ou T4, os quais têm suas concentrações alteradas quando os animais são expostos às mudanças na temperatura ambiente.

Quando a temperatura ambiente está alta, a produção de calor endógeno gerado pela ave tende a diminuir, de modo que o animal consiga manter o equilíbrio corporal e não entre em colapso. Como consequência, os níveis plasmáticos de T3 diminuem (YAHAV et al., 1995), uma vez que este hormônio está diretamente relacionado à produção de calor no animal (GUPTA, 2011). Inversamente, há aumento dos níveis de T4 circulantes (DEYHIM; TEETER, 1991).

As respostas desses hormônios em condições termoneutras e em temperaturas elevadas foram estudadas por Tao et al. (2006). Os resultados mostraram que o hormônio T3 foi melhor indicador de estresse por calor quando comparado T4, dada a queda contínua e significativa de T3 observada nos animais expostos ao calor. Quando as aves foram expostas a situações de estresse por frio os níveis do hormônio T3 foram maiores, quando comparados ao T4 (NEMATİ et al., 2017).

Variações no hormônio T4 também são observadas com a mudança na temperatura ambiente, porém diferem entre os estudos realizados. Em um estudo realizado por Geraert et al. (1996a), os níveis plasmáticos de T4 não diferiram quando os animais foram expostos ao estresse crônico por calor. Em outros estudos, a concentração de T4 plasmática aumentou com a exposição das aves a alta temperatura e diminuiu em aves na mesma situação (RUDAS E PETHES, 1984).

2.5 Tipos de estresse térmico

As respostas dos animais são dependentes do tipo de desafio térmico (NIENABER; HANH, 2007) que pode ser agudo, cíclico ou crônico. Gonzalez-

Esquera e Leeson (2006) caracterizaram o estresse agudo em aves como uma condição que se desenvolve rapidamente, de alta intensidade e com duração de aproximadamente sete dias. Já o estresse crônico é definido pela condição que persiste por um maior período de tempo, normalmente superior a sete dias, podendo durar semanas.

Outros autores mostraram que há diferença entre o tipo de estresse por calor caracterizado como agudo e cíclico. Em relação à classificação aguda, como o próprio nome sugere, há súbito aumento da temperatura ambiente, caracterizado por alcançar altas temperaturas em poucos minutos e ocorrer durante algumas horas do dia. Após o súbito pico de aumento, a temperatura tende a diminuir novamente (TEETER et al., 1985; ZULKIFLI et al., 2018), retornando à zona de termoneutralidade.

Já o estresse por calor considerado cíclico é definido como a condição em que há oscilação da temperatura ambiente, podendo essa oscilação ocorrer em mais de um dia seguido. Neste caso há aumento gradual na temperatura, partindo de uma temperatura considerada constante para a fase de vida do animal, alcançando alta temperatura, considerada estresse por calor. A partir desse ponto, há redução gradual da temperatura até alcançar valores constantes novamente. O emprego deste tipo de calor é encontrado em diversos estudos (BARTLETT; SMITH, 2003, SOUZA et al., 2016; BORGES et al., 2003a; DAI et al., 2011; LIU et al., 2016; NIU et al., 2009; LIU et al., 2018; POPE; EMMERT, 2002; QUINTEIRO-FILHO et al., 2010; SANDS; SMITH, 1999; LAGANÁ et al., 2007a).

O estresse por calor definido como crônico também é denominado por alguns autores como constante. As características desse tipo de estresse baseiam-se na exposição dos animais à temperaturas mais elevadas que a temperatura ideal para a fase, de forma contínua e sem variação na intensidade, durante todo o período experimental (CERNIGLIA; HEBERT; WATTS, 1983; LOTT et al., 1992; HOWLIDER; ROSE, 1992; ALLEMAN; LECLERCQ, 1997; MAY; LOTT; SIMMONS, 1998; MAY; LOTT, 2001; FARIA FILHO et al., 2005; GERAERT; PADILHA; GUILLAUMIN, 1996b; SIQUEIRA et al., 2007; GU; LI; LIN, 2008; ATTOU; ATTOU; BOUDEROUA, 2011; CADIRCI; KONCAGUL, 2014; HE et al., 2015; JAHANIAN; RASOULI, 2015; ABDELQADER; AL-FATAFTAH, 2016; ALJUOBORI et al., 2016; ZEFERINO et al., 2016; HE et al., 2018; LU et al., 2018).

Em relação aos danos causados às aves, alguns autores acreditam que apesar do desempenho ser prejudicado, tanto em condições de estresse cíclico, quanto estresse crônico, as reações fisiológicas ao calor são atenuadas durante períodos de temperatura mais leves, neste caso quando há estresse cíclico, diferentemente da exposição contínua ao calor, em que os danos causados ao animal são maiores (SOUZA et al., 2016). Essa diferença nas respostas se dá pela variação das faixas de temperatura que ocorrem no estresse cíclico, em que há períodos de alta temperatura, porém curtos, seguidos por períodos de constância, em que o animal consegue, mesmo que brevemente, retomar suas atividades.

Em termos de metabolismo, o estresse térmico crônico é apontado por alguns autores como responsável pela menor digestibilidade dos alimentos, em especial de proteínas e gorduras (BONNET et al., 1997), pois age de forma a diminuir a altura das vilosidades intestinais e o peso de jejuno dos animais, prejudicando a absorção dos nutrientes. A qualidade da carne também pode ser afetada neste tipo de exposição ao calor (ZHANG et al., 2012) devido à alteração no metabolismo aeróbico, na glicólise e na deposição de gordura intramuscular (LU et al., 2017).

Em circunstâncias de rápido aumento da temperatura, provocada pelo estresse por calor agudo, foi observada menor proliferação de enterócitos (UNI et al., 2001) e redução na profundidade das criptas (MARCHINI et al., 2016), comprometendo, por consequência, a absorção de nutrientes. No estresse agudo também foi observada modificação da microbiota intestinal e aumento da colonização por patógenos como a *Salmonella enteritidis* (BURKHOLDER et al., 2008).

2.6 Mecanismos de regulação de temperatura

2.6.1 *Exposição a ambiente frio*

A exposição ao frio é desfavorável para aves na fase inicial de criação, pelo fato destas não possuírem seu sistema termorregulatório completamente desenvolvido. Sendo assim, estes animais necessitam de fontes externas de calor para manter o corpo aquecido, uma vez que a termorregulação completa ocorre entre 10 a 15 dias após o nascimento (GOMES et al., 2012). Para conseguir manter o

estado de conforto, mecanismos ligados ao comportamento e a fisiologia são utilizados.

A exposição a ambiente frio faz com que a temperatura corporal do animal diminua rapidamente, e a energia proveniente do alimento que seria utilizada para fins de produção é utilizada para produção de calor corporal (SOREN, 2012). Quando expostas a ambientes frios as aves apresentam mudança de comportamento na tentativa de preservar o calor do corpo. Um dos mecanismos utilizados para manter o corpo aquecido se dá pelo agrupamento dos animais. A baixa cobertura de penas no corpo e alta relação de superfície/volume além da pouca quantidade de gordura (BRAKE; YAHAV, 2012) são os principais fatores que dificultam a retenção de calor corporal.

Um dos meios fisiológicos utilizados para manter ou aumentar calor corporal está relacionado ao consumo alimentar, uma vez que à medida que o animal aumenta a quantidade de alimento ingerido, aumenta a produção de calor metabólico. Mendes et al. (1997) observaram maior consumo de ração em aves expostas a baixas faixas de temperatura (15,5°C) em comparação às aves expostas a temperatura constante (21,1°C) e a altas temperaturas (25,2°C-33,3°C).

Como consequência, maior ganho de peso também foi observado em aves expostas a temperaturas baixas em relação a aves em temperatura constante. Porém houve maior mortalidade devido à ascite observada em animais em estresse por frio (IPEK; SAHAN, 2006). As causas para o aumento do desenvolvimento desta síndrome em baixas temperaturas estão ligadas ao maior requerimento metabólico de oxigênio e a hipertensão pulmonar (STOLZ et al., 1992).

Outro processo fisiológico utilizado para reter calor interno é a vasoconstrição. Neste mecanismo, os vasos sanguíneos se contraem e há menor circulação de sangue para os tecidos periféricos. Desta forma, o calor produzido pelos processos metabólicos fica retido no interior do corpo da ave. Ao mesmo tempo em que há menor aporte de sangue para os tecidos periféricos pela vasoconstrição, um maior aporte de sangue é direcionado para os tecidos do núcleo para aumentar a produção de calor corporal e manter o corpo da ave aquecido (BRAKE; YAHAV, 2012).

Para que os animais consigam enfrentar a variação na temperatura ambiente, estratégias de indução à termotolerância vem sendo testadas (SHINDER et al., 2007). O condicionamento térmico dos animais pela exposição repetitiva ao frio realizado nos primeiros dias de idade permite melhora da capacidade do animal em

preservar a temperatura corporal ideal (SHINDER et al., 2007), o que se torna mais difícil em aves que não são aclimatadas, de forma que estes animais demoram mais tempo para recuperar a temperatura corporal após exposição a baixas temperaturas.

O desenvolvimento da termotolerância por condicionamento nos primeiros dias de idade de frangos também foi estudada por Yahav e McMurtry (2001). De acordo com os autores, os animais que foram condicionados em temperatura ambiente com três dias de idade apresentaram melhores condições posteriores de desempenho e de tolerância às variações na temperatura.

2.6.2 Exposição a ambientes quentes

Em outro extremo, à medida em que animal cresce também aumenta a produção de calor corporal e a necessidade de transportar o calor produzido pelo metabolismo para o ambiente. As duas principais vias de dissipação de calor se dão pela superfície corporal e pela respiração (BORGES et al., 2003a), dividindo-se em perda de calor sensível e perda de calor latente ou evaporativo.

A transferência de calor para o ambiente pela perda sensível é mais efetiva nas áreas não cobertas de penas, pois são nestes locais que há maior fluxo sanguíneo em situações de altas temperaturas (BARACHO et al., 2011). Quando essas vias já não são mais efetivas, para a troca de calor com o ambiente, a ave recorre à troca de calor por meio da perda evaporativa, sendo a ofegação o meio mais utilizado neste tipo de troca.

As perdas que ocorrem por meio de calor latente se dão por evaporação de água corporal da ave para o meio ambiente. A principal característica deste processo é a ofegação, onde o calor é dissipado pelas vias respiratórias e pela boca (ETCHES, R. J.; JOHN, T. M.; VERRINDER GIBBINS, A.M, 2008). Porém esse processo só é eficiente quando os animais consomem quantidade suficiente de água (BELAY; TEETER, 1993). Quando a temperatura corporal da ave e do meio ambiente se igualam e o animal não consegue mais fazer a troca de calor por perda sensível, a perda de calor por evaporação se torna essencial (COLLIER; GEBREMEDHIN, 2015), porém pode levar a ave a distúrbios metabólicos.

A alcalose respiratória é o principal distúrbio que afeta as aves e ocorre pelo aumento da ofegação. Como consequência da ofegação, há grande eliminação de dióxido de carbono e diminuição da pressão deste componente na corrente

circulatória. Com isso, a concentração de ácido carbônico e hidrogênio também diminuem, fazendo com que os rins respondam aumentando a excreção de bicarbonato e diminuindo a excreção de hidrogênio (BORGES et al., 2003b).

Entre as mudanças comportamentais, a prostração do animal e a abertura das asas e bico são comumente observadas. O eriçamento das penas também é um meio de dissipação de calor para o ambiente, uma vez que os animais conseguem por esse processo levar o calor gerado em seu corpo para os tecidos periféricos, possibilitando a troca com o meio. Essas mudanças foram observadas por Tan et al. (2010) quando a temperatura ambiente aumentou de 32°C para 38°C, enquanto as aves mantidas em condições adequadas de temperatura não apresentaram mudança de comportamento.

Um dos principais ajustes quando ocorre elevação da temperatura ambiente é a suspensão da ingestão de alimento, cessando de forma parcial ou até mesmo total o consumo de ração com o objetivo de minimizar a produção de calor. Chowdhury et al. (2012) observaram menor consumo de ração à medida que aumentou a idade das aves. Entretanto a menor ingestão de alimento foi observada a partir dos 14 dias de idade nas aves estressadas pelo calor, sendo igual entre animais desafiados e não desafiados a alta temperatura até os 7 dias de idade.

Concomitantemente ao menor consumo, ocorre aumento da ingestão de água em animais estressados pelo calor (BRUNO et al., 2011; JAHEJO et al., 2016; OLFATI et al., 2018). A necessidade de resfriamento dos órgãos faz com que as aves eliminem água do corpo através do processo de ofegação. Porém, para que este processo seja eficiente, o fornecimento de água ao animal em estresse por calor necessita ser monitorado continuamente, pois o consumo de água depende da sua temperatura, e tende normalmente a se assemelhar à temperatura do ambiente (PENZ JUNIOR, 2003).

2.7 Balanço eletrolítico e estresse por calor

Eletrólitos são conhecidos como substâncias químicas que tem como função principal manter o equilíbrio de íons e de água no corpo do animal (AHMAD; SARWAR, 2006). O Na⁺, K⁺ e Cl⁻ são os principais íons requeridos para a manutenção do equilíbrio ácido-base e a homeostase corporal, sendo a soma e a inter-relação entre esses três eletrólitos conhecida como balanço eletrolítico da dieta

(MUSHTAQ; PASHA, 2013). Para que o animal consiga manter o equilíbrio homeostático, os íons Na^+ , K^+ e Cl^- devem estar em equilíbrio de forma intra e extracelular. O K^+ é o principal cátion atuante no meio intracelular, enquanto o Na^+ e Cl^- são os principais responsáveis pelo equilíbrio extracelular (BORGES; FISCHER DA SILVA; MAIORKA, 2007).

Quanto à atuação no plasma, os cátions Na^+ e K^+ aumentam o pH sanguíneo e a concentração de bicarbonato (HCO_3^-) no plasma, enquanto a suplementação do ânion Cl^- age diminuindo essas concentrações (HURWITZ et al., 1973). Enquanto o Na^+ é o íon presente em maior quantidade no fluido extracelular, as maiores reservas corporais de K^+ estão no músculo, no sangue e nas células nervosas. O Cl^- por sua vez é o principal ânion requerido no fluido corporal, e sua ligação com o Na^+ e K^+ é fundamental para a osmolaridade dos fluidos e o homeostase ácido básica (MUSHTAQ; PASHA, 2013).

A exposição prolongada das aves a ambientes quentes pode levar ao desequilíbrio na concentração destes íons e afetar o balanço ácido básico corporal. Segundo Kumar et al. (2017) o aumento da taxa de ofegação resulta em perda de dióxido de carbono (CO_2) com aumento do pH sanguíneo e consequente quadro de alcalose. Já o quadro de acidose é caracterizado pelo aumento da excreção de bicarbonato na urina, levando a um menor pH sanguíneo (MUSHTAQ; PASHA, 2013).

De acordo com BELAY E TEETER (1993), as concentrações de Na^+ e K^+ diminuem conforme aumenta a temperatura ambiente, enquanto que a concentração de Cl^- aumenta. Segundo Ahmad; Sarwar (2006) dietas formuladas com alto balanço eletrolítico para aves em estresse por calor, entre 340 a 360 mEq/kg, pode levar a quadros de alcalose metabólica, enquanto valores muito baixos de balanço eletrolítico (0 mEq/kg) podem desencadear acidose. De acordo com os autores, para aves em estresse térmico o melhor desempenho é alcançado com o valor de balanço eletrolítico de 250 mEq/kg de dieta.

2.8 Nutrição no controle de perdas relacionadas ao estresse por calor

Para manter o equilíbrio ácido básico e reduzir as perdas ocasionadas pelo aumento da temperatura, medidas envolvendo a nutrição das aves são largamente utilizadas. A suplementação de sais como cloreto de potássio (KCl) e bicarbonato de

sódio (NaHCO_3) ofertados via água de bebida ou alimento são alternativas para minimizar as perdas oriundas do estresse ambiental. Além destes, os sais de cloreto de amônio (BRANTON; REECE; DEATON, 1986) e de cálcio também são utilizados como aliados para minimizar as perdas oriundas das altas temperaturas. A suplementação de 0,50% de cloreto de potássio na água de bebida é considerada como alternativa para melhorar as respostas fisiológicas e de desempenho de aves em ambiente quente (YOSI; WIDJASTUTI; SETIYATWAN, 2017).

A faixa de variação encontrada na literatura para os valores do balanço eletrolítico (Bel) em aves em estresse por calor é ampla, e independe da idade dos animais. Borges et al. (2003b) trabalharam com valores de 40 a 340 mEq/kg nas dietas. Segundo os autores, dietas com 40 mEq/kg reduziram o consumo de alimento e o ganho de peso, enquanto que as de 340 mEq/kg pioraram a conversão alimentar das aves. Ahmad e Sarwar (2006) propuseram o valor de 250 mEq/kg como ideal para o desempenho das aves. Já para Gamba et al. (2015), aves em estresse por calor têm melhor desempenho com valores de balanço eletrolítico de 350 mEq/kg. Estes autores atribuíram melhor desempenho com 350 mEq/kg e justificaram pelo fato das aves conseguirem manter a homeostase neste valor de balanço eletrolítico por conseguirem se adaptar às alterações causadas pelo estresse agudo, que tem por característica súbito aumento da temperatura tendendo a diminuir novamente (TEETER et al., 1985; ZULKIFLI et al., 2018), a níveis toleráveis às aves. Já Borges et al (2003), atribuíram piora na conversão alimentar com o uso de 340 mEq/kg de dieta. Porém os autores não justificaram a piora na conversão alimentar com o nível de Bel de 340 mEq/kg.

2.8.1 Manejo da água de bebida

Aves em estresse por calor aumentam o consumo de água (BELAY e TEETER, 1993). De acordo com os autores, o consumo de água está altamente correlacionado com a perda evaporativa de calor em animais estressados por alta temperatura (35°C), uma vez que o aumento da ingestão deste nutriente auxilia na perda de calor pela respiração. O consumo de água variou de 134,1 mL por hora em animais sob termoneutralidade à 334,4 mL por hora em animais sob estresse por calor. Para minimizar as perdas ocasionadas pelo aumento da temperatura ambiente o manejo da água oferecida aos animais é fundamental. A temperatura da água de

bebida tem grande influência no consumo, uma vez que os animais regulam seu consumo de água de acordo com a temperatura ambiente (BRUNO et al., 2011).

2.8.2 Energia, gordura e proteína bruta na dieta

A redução da ingestão de alimento quando as temperaturas estiverem elevadas pode ser a alternativa para a redução da produção corporal de calor. Porém são necessários ajustes na concentração de energia da dieta (LAGANÁ, 2008) a fim garantir que os animais supram suas necessidades nutricionais sem perdas produtivas.

Uma das práticas utilizadas para aumentar o teor de energia das dietas e minimizar os efeitos sentidos pela alta temperatura está ligada à adição de gordura na ração (DAGHIR, 2009). Além de aumentar o consumo de energia, por melhorar a palatabilidade da dieta, a adição de gordura também reduz a produção de calor, uma vez que a gordura possui menor incremento calórico quando comparada a proteínas e aos carboidratos (SUGANYA et al., 2015). Ghazalah et al. (2008) mostraram que dietas com elevado teor gordura (5%) ajudaram a reduzir o efeito prejudicial do estresse térmico em frangos criados em temperaturas de 29°C a 36°C. Zulkifli et al. (2007) também demonstraram melhores resultados para a tolerância ao calor quando foi adicionada gordura na dieta. Por outro lado, quando frangos de corte de 21 a 42 dias de idade foram submetidos a estresse calórico cíclico de 25-32°C, Laganá et al. (2007a) não encontraram influência da dieta com maior quantidade de óleo (4%) e menor proteína no desempenho quando estes animais foram comparados aos mantidos em ambiente termoneutro.

Em contrapartida ao uso de gordura na ração, a proteína é apontada como o componente com maior incremento calórico, e desta forma maior responsável pelo aumento da produção de calor (DAGHIR, 2009). O autor sugere que dietas com níveis mais baixos em proteína bruta e suplementadas com aminoácidos limitantes principalmente metionina e lisina contribuem para obter melhores resultados durante períodos quentes, comparadas com dietas com elevado teor de proteína. Teeter (1985) também recomenda a redução nos níveis de proteína da dieta no intuito de minimizar o calor causado por esse nutriente.

Por outro lado, Temim et al. (2000) ao estudar o efeito da exposição crônica ao calor (32°C) em aves de 28 a 42 dias de idade utilizando dietas com altos níveis

de proteína (28% e 33%) concluíram que o excesso de proteína bruta não interferiu no desempenho, e apresentou melhora no desempenho, comparado com aquelas que consumiram 20% de proteína bruta na dieta. Porém, os autores ressaltaram que mesmo que o aumento da proteína da dieta tenha proporcionado efeito favorável aos animais, este efeito foi relativamente baixo. Nas condições ambientais do estudo, onde os animais ficaram em exposição constante ao calor e sem períodos de temperaturas mais amenas, como ocorre na exposição cíclica, a modificação dos níveis de proteína da dieta não foi suficiente para aliviar os efeitos causados pela alta temperatura.

A resposta das aves à quantidade de proteína na dieta também pode ser afetada pelo tempo de exposição ao calor, que varia dependendo se exposição for a curto ou longo prazo (GONZALEZ-ESQUERA E LEESON, 2006). A degradação das proteínas pode aumentar rapidamente, quando se trata da fase aguda e diminuir na fase crônica. De acordo com Ostrowski-Meissner (1981) quando a exposição dos animais for em um curto período de tempo e em temperaturas muito elevadas (15 min a 42°C) há redução na síntese proteica, e de aminoácidos livres essenciais e não essenciais. Por outro lado, se a exposição ao estresse por calor for crônica isso faz com que haja menor síntese proteica em vários músculos além de diminuir os níveis da maioria dos aminoácidos livres e de cadeia ramificada.

Por outro lado, estudos mostraram efeitos negativos no desempenho (BREGENDAHL et al., 2002; STERLING et al., 2002; FARIA FILHO et al., 2006) quando os animais foram testados com baixos teores de proteína pelo fato de haver menor consumo de alimento a altas temperaturas e conseqüentemente ocorrer deficiências de aminoácidos. Para Furlan et al. (2004), além de diminuir o desempenho, dietas com menores teores de proteína também implicam no aumento dos requerimentos da energia de manutenção sob altas temperaturas. Este autor cita em sua revisão que Nieto et al. (1997) observou que frangos de corte alimentados com baixos níveis de proteína bruta (6,6% e 20%) dos 10 aos 24 dias de idade tem seu requerimento de energia de manutenção aumentado (966 e 824 kJ/kg^{0,75}/dia, respectivamente).

2.9 Meta-análise e modelagem na pesquisa animal

Segundo Lovatto et al. (2007), a meta-análise é uma ferramenta que possibilita o aumento da precisão analítica pelo fato de conseguir reagrupar inúmeros experimentos, permitindo melhor ajuste dos dados. O uso desta ferramenta se baseia em análises estatísticas com o objetivo de resumir e quantificar estudos já realizados (SAUVANT et al., 2008), o que permite a construção de novas hipóteses partindo de dados já existentes na literatura (LOVATTO et al., 2007).

Basicamente, estudos meta-analíticos são conduzidos em situações de testes de hipóteses globais, para se ter uma estimativa mais precisa dos efeitos testados, para modelagem empírica das respostas biológicas como a resposta dos animais a determinado teste, além de permitir novas hipóteses e estimar parâmetros de forma mais precisa e em maior escala no estudo (SAUVANT et al., 2008). De acordo com Remus et al. (2014) a meta-análise consegue ajustar os dados relativos a diversidades experimentais, aumentando o número de amostras e tornando possível, desta forma, a observação de diferenças que poderiam não ser observadas em pequenas populações.

Utilizada primeiramente nas ciências da saúde, esta ferramenta encontra-se em expansão sendo cada vez mais usada na área de produção animal pelo fato de conseguir agrupar um grande volume de dados proveniente de inúmeros estudos em uma única base. Na maioria dos casos estes estudos se referem somente a um ou alguns poucos fatores, não analisando outros fatores que poderiam interferir na pesquisa, por isso há uma necessidade de resumir os resultados encontrados e a meta-análise surge como uma ferramenta capaz de unir esse material (ST-PIERRE, 2007).

O aumento constante do número de publicações aliado as questões éticas no uso de animais para experimentação *in vivo* tem feito com que o uso da meta-análise cresça de forma significativa no campo das ciências rurais, já que esta ferramenta permite obter uma visão global dos dados experimentais (LOVATTO et al., 2007).

Em estudos com monogástricos, o uso da ferramenta de meta-análise também vem sendo usado para auxiliar na pesquisa. Remus et al. (2014) utilizou a ferramenta de meta-análise para determinar o efeito na ingestão de alimento e desempenho de frangos de corte desafiados com bactérias. Os efeitos do fósforo não-fítico sobre o desempenho de frangos de corte e concentração de cinzas de tíbia (FARIDI et al., 2015), e a eficácia de aditivos alimentares e de água na redução da prevalência ou concentração de Salmonella em frangos de corte (TOTTON et al.,

2012). Em suínos, Pastorelli et al. (2012) fizeram uso da ferramenta para quantificar as perdas relacionadas a consumo de alimentos e desempenho em suínos em crescimento desafiados sanitariamente. Já AVERÓS et al. (2012) utilizaram a meta-análise para o estudo da relação do ambiente físico e as características do animal e do alimento, além da avaliação de desempenho de suínos em crescimento e terminação.

3 HIPÓTESES E OBJETIVOS

Hipóteses:

1. O desempenho de frangos de corte submetidos ao estresse por calor é possível ser quantificado por meio de equações de predição acuradas criadas com o auxílio da ferramenta de meta-análise;
2. O desempenho de frangos de corte em estresse por calor varia de acordo com o tipo de estresse ao qual as aves são submetidas;
3. O balanço eletrolítico das dietas interfere no desempenho de frangos de corte submetidos ao estresse por calor.

Objetivos:

1. Desenvolver equações acuradas que predigam a variação no desempenho em frangos de corte nas fases inicial e final de criação submetidos a estresse térmico;
2. Determinar através do estudo de meta-análise a influência do estresse constante e cíclico no desempenho de frangos de corte expostos a altas temperaturas;
3. Demonstrar o grau de correlação entre o balanço eletrolítico da dieta e o estresse por calor no desempenho em frangos de cortes utilizando a ferramenta de meta-análise.

CAPÍTULO II

Performance modeling of broilers under heat stress

Este capítulo é apresentado conforme as normas de publicação da revista

Poultry Science

Performance modeling of broilers under heat stress

G.D. Schirmann^{1a}, C.S. Franceschina¹, M. Kipper¹, I. Andretta¹, A.M.L.Ribeiro

¹*Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Departamento de Zootecnia, Av. Bento Gonçalves, 7712 – 91540-000 – Porto Alegre, RS – Brasil.*

^a*Presentaddress: Faculdade de Agronomia, Avenida Bento Gonçalves, 7712 - Agronomia, RS, 91540-000*

Corresponding author: Graciele Schirmann. E-mail: gracizootecnia@gmail.com

Short title: Meta-analysis of heat stress effects in broiler chickens

Abstract

Two meta-analysis were elaborated aiming to develop prediction equations for the variation of performance in broilers submitted to heat stress, analyze the influence of the type of stress and demonstrate the degree of correlation between the electrolytic balance of the diet and the heat stress. Two independent databases containing information of performance and environmental temperature of broilers under heat stress were developed. The first database refers to the initial phase (1 to 21 days) and the second one refers to the growing and finishing phase (over 21 days). In the database of the initial phase 14 articles and 7667 animals from studies performed between the years of 2001 and June 2018 were used, while for the second database, it was used 74 articles between 1983 and June 2018 with a total of 25145 broilers. The main criteria for the articles selection were (1) experiments using at least two temperatures (thermoneutral and high temperature); (2) the presence of intake, weight gain and feed conversion responses; (3) food and water *ad libitum* during the experimental period; (4) information about the animals characteristics (sex, bloodlines, growing phase, initial and final age). Both databases were classified in two types of stress: cyclic and constant stress. After the analysis of these variations, the prediction models were constructed. For the initial age, only the weight gain was influenced by heat stress, while after 21 days of age, prediction equations were created for feed intake and weight gain. The feed conversion was not affected by heat stress in any of the studied phases. The constant heat stress showed to be more negative than the cyclic heat stress to the performance of broilers after 21 days of age, but in the initial phase these types of stress did not differ significantly. The relation between the electrolytic balance of the diet and the performance in broilers under heat stress was analyzed considering broilers over 21 days of age, and a weak correlation between these variables was observed. It was concluded that heat stress affects more the broilers over 21 days, although the feed conversion is not affected. Feed intake is the most important variable affected by heat stress

and the relation between the electrolytic balance of the diet and the high temperatures is too low or inexistent.

Keywords: broilers, electrolyte balance, heat stress, meta-analysis, performance.

Introduction

The genetic advance in order to increase the productive potential caused the development of animals with higher growing rates in short periods of time. However this advances did not included the cardio- respiratory development (HAVENSTEIN et al., 2003) causing the increase of metabolic heat production and body temperature, in result of the a higher quantity of body mass and high rates of metabolism of broilers (BORGES et al., 2003b), that is higher during the growing and finishing phase, when the heat loss process is reduced (LAGANÁ, C.; RIBEIRO, A. M. L., 2007).

The studies found in literature show the negative interference of the performance of broilers exposed to heat. Broilers under heat stress decrease the intake, in order to maintain the homoeothermia, however this adjustment results in a lower weight gain and feed conversion (BAZIZ et al., 1996). Regarding the feed conversion, several authors show the improvement of this response increasing fat in the diet (DALE and FULLER, 1980; BONNET et al., 1997) and with the supplementation of vitamins (E and C) and minerals (Zn and Se), (LAGANÁ, C. et al., 2007). On the other hand, Lana et al. (2000) showed no differences in feed conversion when broilers were submitted to 31°C compared to thermoneutral ones and assigns this result to lower intake and weight gains of these animals.

Even though the damage caused by the heat stress is already proven, there is no models that estimate these variations yet. Besides, with the attempt to maintain the homeostasis and reduce the losses caused by the increase of temperature, nutritional measures such as the ones related to the electrolytic balance were studied (BORGES et al., 2003a; BORGES et al.,

2003b; BORGES et al., 2004a; BORGES et al., 2004b), always using as base 250 mEq/kg of diet, value indicated in 1981 by Mongin (Mongin, 1981) as the ideal one for the maintenance of the acid basic balance of the animal.

The types of stress that the broilers are exposed vary according the duration and severity degree. In the constant heat stress the broilers are exposed to high temperatures continuously and with no intensity variation during the experimental period. On the other hand, in the cyclic heat stress there is an environment temperature oscillation during a period of 24 hours, (RIBEIRO et al. 2001; BARTLETT, SMITH, 2003; SOUZA et al., 2016; BORGES et al., 2003), however in this type of stress broilers have a better ability on dealing with the temperature variation, because the heat periods are intersperse with thermoneutral conditions (PIESTUN et al., 2011).

Considering the constant increase in the number of publications, besides the difficulties regarding the ethical issues for using animals for in vivo experiments, the possibility of using a meta-analysis tool that is based in statistical analysis aiming to resume and quantify studies already performed, for the construction of new hypotheses emerges as an alternative (SAUVANT et al., 2008).

Considering this, the present study aimed to develop prediction equations able to predict the performance variation of broilers submitted to heat stress in the initial and final growing phases, determine the influence of the type of stress on the performance of broilers exposed to high temperatures and demonstrate the degree of correlation between the electrolytic balance of the diet and the heat stress on the performance of broilers, using the meta-analysis tool.

Material and Methods

Meta-analysis

Digital databases (Google Scholar, Science Direct, Scopus, and PubMed) were searched to identify studies published in scientific journals that reported the effect of high environmental temperature on broiler performance. The keywords ‘temperature’ and ‘heat stress’ combined with ‘broilers’ were used in the search. The main criteria for the paper selection were: (1) Experiments using at least two temperatures (thermoneutral and high temperature); (2) performance responses (feed intake, weight gain, feed conversion) of broilers; (3) feed and water provided *ad libitum* during the experiment; (4) animal characteristics (sex, genetic line, rearing phase, initial and final age).

Twenty seven articles published in peer-reviewed journals from 2001 to 2018 (1 to 21 days), and 99 articles published in peer-reviewed scientific journals from 1983 to 2018 (after 21 days) matched the first selection criterion. For database from 1 to 21 days, 13 articles were removed (one applied feed restriction, 2 showed incomplete information about performance data and 10 containing other data than heat stress in the same treatment. From database after 21 days, 25 articles were removed (3, 10 and 12 for the same motifs explained above, respectively). Seven articles presented data between rearing phases (e.g, data for 14 to 28 days of rearing phase). Therefore, 14 articles remained in the database from 1 to 21 days (presented in Complementary Material, Table 1), totaling 7.667 broilers. To compose the database after 21 days of age (presented in Complementary Material, Table 2), 74 articles and 25.145 broilers were used.

After the paper selection, the information related to the proposed theoretical model and other additional variables were copied from material and methods and results sections in the original publications, and transferred to electronic spreadsheets. Based on this data, two independent databases were constructed. The first with data from 1 to 21 day old broilers, and the second database of broilers with more than 21 days old. Results collected in animals

subjected to treatments other than heat stress challenge (e.g, immune stress) were not included in the databases because it could interfere in the results.

The methodology applied to databases construction and coding followed the proposals described in literature (LOVATTO et al., 2007; SAUVANT et al., 2008). Codes were used with qualitative grouping criteria in the analytical models. In this item, the main codes were applied for thermoneutral (control temperature) and heat stress environment (temperature levels above the thermoneutral zone, according the growth phase). Codes were used to consider the variability among all compiled experiments (e.g.: effect of study or trial), and stress type (e.g.: chronic and cyclic heat stress). In the chronic heat stress the animals were exposed to high temperature continuously, without variation in intensity throughout the experimental period. The cyclic heat stress was defined as the condition in which the ambient temperature fluctuates during the day, more than one day in a row.

Meta-analysis was performed following three sequential analyses: graphical (to control database quality and to observe biological coherence of data), correlation (to identify related factors among all variables), and variance-covariance (to compare the treatments and to obtain the prediction equations). In the latter case it was utilized the General Linear Model procedure (PROC GLM). Statistical analyses were performed using the software Minitab (Minitab for Windows, v. 18, Pine Hall Rd, Pennsylvania, USA).

Performance results were evaluated as raw data (as presented in the original papers) or as relativized information (indicated in the current study as “heat stress effect”). For the second approach, the responses of heat stress treatments were relativized (Δ WG; Δ FI) to the respective control treatment and expressed as percentage or grams (complementary material) of variation between the results. This procedure was adopted because it considerably reduced the effect of variation among experiments in the database (Pastorelli et al., 2012 and Andretta et al., 2016).

From the observed data (feed intake, weight gain, and ambient temperature) presented in the database, models were created to predict the effect of heat stress on animal's performance. The study code effect was considered in all analytical models as a random effect, and the variation of treatments over control was considered as covariate. Linear and quadratic fits were tested individually in the regression analysis for temperature and age. In order to reduce the variability among studies (e.g. studies used chickens in different ages, for instance, with different requirements of thermoneutral temperatures), the equations were created using the variation of the tested temperature above the upper critical temperature physiologically required for the chickens, obtained in the manual for Cobb 500 according to age. (e.g. if birds required 20 °C, but were exposed to 25 °C, so the variation was 5 °C and this new variable was used in the modelling procedure). A similar approach was used in NRC (2012) to estimate feed intake of pigs in different temperature conditions.

From the observed data, equations were created to predict the relative variation on performance data. The equations were generated for weight gain from 1 to 21 days old database and for feed intake and weight gain from database after 21 days old. Feed conversion rate was not significant in any phase, nor Feed intake for the first 21 days. So, no prediction equations were generated. The relative performance variables were calculated as "heat stress effect". The estimated means for FI and WG were compared to observed FI and WG, present in the original publications. Comparisons were performed by ANOVA using the General Linear Model procedure (PROC GLM). Due to the importance of humidity in the animals' heat exchanges, in a second step, this variable was used to determine the prediction equations. However, only 32 studies, in the grower phase, had this variable. Therefore, only one equation was generated.

Dietary electrolyte balance (DEB) study was realized considering only data of 21 days old broilers onwards, because from this age heat stress impacts performance substantially.

The DEB was calculated according to Mongin (1981) and consisted by the sum of Na, K, minus Cl present in the ingredients provided in the diet composition of each study. If the article did not show DEB the levels of Na, K, and Cl in the ingredient were obtained in Rostagno et al. (2017) tables and DEB was calculated.

Correlations between calculated electrolyte balance and performance results were evaluated in both groups (control and heat stress), in two approaches: (1) raw performance data, (2) residual values of performance data after adjustment for study and age effects using variance analysis. The residual values consisted of data that could not be explained by the adjustment for the effect of the study and the age of the animals. In addition, the correlation between calculated electrolyte balance and variation (heat stress over control group) was assessed.

Validation Model

To validate the prediction models created, a database was utilized to validate initial phase models (1 to 21 days) was composed by 171 observations, using only information about temperature and weight gain. The database to validate broilers after 21 days old contained 169 observations, with temperature, feed intake, weight gain and age information's. These complementary data bases were totally independent of the first ones and were collected from dissertations and theses published in the literature after July 2018. This criteria was defined to avoid data already used in the other databases. The information collected was organized into two new databases, following the same layout as the first ones, where the columns represented descriptive variables related to temperature, age and performance (feed intake, weight gain and feed conversion) and the lines representing the repetitions of the studies. The overall lack of accuracy was evaluated by the mean squared prediction error (MSPE). The MSPE was then broken down into error of central tendency (ECT), error of regression (ER,

which together with ECT indicated the lack of trueness), and error due to disturbances (ED; which indicated lack of precision), following the proposition described by Theil (1966). Afterwards, the interpretation was performed according to Benchaar *et al.* (1998) and Pomar and Marcoux (2003).

Results

The database used in the meta-analysis from 1 to 21 days old broilers was composed of 14 scientific papers (Complementary material, Table 1) published from 2001 to May 2018, which used 7.667 broilers in 15 experiments. Broiler genetic was described in 93% of the studies (47% Ross, 40% Cobb). The Hubbard genetic was used just in one study. Only one paper did not specify the genetic strain. At this phase, only male chickens were used in the experiments, totalizing 67% of the trials, while 27% of the trials did not specify sex of birds. To compose the database after 21 days of age (Complementary material, Table 2) a total of 25.145 broilers, 74 scientific papers and 85 experiments were used. The scientific papers were published from 1983 to June 2018. Broiler genetic was described in 89% of the studies. Most studies used Ross genetic (31%), followed by Arbor Acre (20%), Cobb (19%), Hubbard (8%) and Isa (6%). Mixed sex was used in 5% of the studies, while 65% of the trials used only males, and 3% only females, meanwhile 25% of the trials did not specify the sex.

The relative air humidity was reported only in 6 studies (40%) in the database to 1 to 21 days (Complementary material, Table 6) and in only 32 studies (38%) after 21 days old (Complementary material, Table 7). Despite the few studies that provided information on relative humidity, a prediction equation for WG in birds after 21 days of age was determined and presented below: $\Delta WG (\%) = -53.0 - 8.10\Delta T + 0.182\Delta T^2 + 5.39I - 0.0761I^2 + 2,049\Delta RH - 0.1122\Delta RH^2$; $R^2 = 0.95$. Where: ΔT = Variation temperature; I = age (days); ΔRH =

variation relative humidity; WG = weight gain. Prediction models for consumption and feed conversion were not determined since the relative humidity did not influence these responses.

Only two articles used cyclic heat stress in the initial phase, and only three studies provided Dietary Electrolyte Balance values, with variations from 206 mEq / kg to 218 mEq/kg of diet (Complementary material, Table 6). In the grower phase, the DEB values provided by the authors ranged from 40 mEq / kg to 340 mEq /kg of diet (Complementary material, Table 7).

The relationship between environmental temperature and age is shown in Figure 1 and each cross represents a study of both databases (1 to 21 and 21 days old onwards). Few studies were conducted at initial phase, until 21 days, since high temperatures are much more prone to affect old broilers. The majority of the studies involving heat stress temperature were performed from 21 to 42 days old; few studies were performed after 42 days and the maximum broilers age used was 56 days old.

The “heat stress effect” from 1 to 21 days (A and B) and after 21 days (C and D) is presented in Figure 2. In both databases, feed intake and weight gain were lower in heat stress broilers. Lower feed intake was observed in 83% of the comparisons between constant heat stress and control treatments, and in 100% when comparing cyclic heat stress (A). Specifically, after 21 days old, feed intake was lower in 90% of the comparisons for both constant and cyclic heat stress situations (C). Related to weight gain, worsening responses were observed in 92% of the comparisons, but only 33% of the responses worsened weight gain when broilers were challenged by cyclic heat stress, in broilers up 21 days old. (B). After 21 days, 79% of the responses for constant heat stress and 86% for cyclic heat stress reported worsening weight gain compared to control treatment (D).

Analyzing statistically the “heat stress effect”, feed intake and feed conversion were not significant for broilers until 21 days of age ($P>0.05$) (Table 1), but weight gain decreased

(-12.33%; $P=0.001$). Type of stress could not be evaluated in this phase (few data). After 21 days, birds exposed to heat stress had a negative variation in feed intake (-11.62%) and weight gain (-15.01%). In relation to the type of stress, constant heat stress had greatest negative influence on feed intake (-29.17 vs 19.97) and was responsible for a higher loss on weight gain (-20.63 vs 15.83), compared to cyclic heat stress. Although feed conversion worsened in HS challenge, it was not significant ($P>0.05$) and consequently stress type neither ($P>0.05$).

The relationship between feed intake and weight gain variation in broilers at heat stress condition, presented in Figure 3, shows in both databases, linearity, negative relation and different from zero intercepts. According to these results, the ΔG was -1.6% and -1.8% when ΔFI was null, up 21 and after 21 days old respectively.

The prediction equations of relative performance in percentage (Table 2) of heat stress broilers up to 21 day old were determined only for WG ($P<0.05$). Heat stress did not influence feed intake and feed conversion ($P>0.05$), as already said. Also, only the temperature was used as independent variable to determine the equations, since age was not included because it did not interfere significantly ($P>0.05$).

Prediction equations for heat stress broiler after 21 days included besides temperature, the age as independent variable, because this variable was significant ($p<0.05$) and contributed to determine the equations (Table 3). For FI, in the Equation 1a, 2a, 3th, only the temperature was included in the model, and was the only significant parameter, even including age in the model in the Equation 4 and 5. For WG, although the variation at weight gain in the Equation 6a and 7a was influenced by temperature, the intercept of both equations were not significant. Weight gain was influenced by temperature (Equation 8a, $P<0.01$ and $P<0.001$) and temperature and age (Equation 9a). However, the R^2 was below 80% in both equations. In Equation 10th, only the age influenced the weight gain ($P<0.01$).

In Table 4, the agreement between feed intake (FI) and weight gain (WG) variation in percentage estimated by the empirical models and the observed values were used to evaluate the models in terms of lack of accuracy, trueness, and precision. The criteria determining the best models for FI and WG was choosing the models with the lowest error values (MSPE) (Benchaar et al., 1998; Pomar and Marcoux, 2003). Equation 1 (Table 4) was significant for the estimated WG ($P < 0.05$), but the means were far from the observed model. Equation 1 (Table 4) presented lower ED (16.88) compared to ECT (17.67) and ER (25.65).

For relative FI (Table 4), five equations were generated and the mean values were higher than the observed model. The fifth Equation (5a) was the closest to observed model (-10.79 vs -11.09). Also, ECT (0.09) and ER (59.94) presented in this Equation better explained the predicted model. For WG (Equation 10a) the ED was the limiting factor for model accuracy. Equation 6a estimated higher WG variation (+1.5%) compared to the observed value.

Correlations between performance and electrolyte balance (Table 5) were in general, very low for both control and heat stress results. The residues were significant and positive for FI in broilers submitted to heat stress treatments, but despite positive, this correlation was very low. In the same way, the correlations of variations in percentage between control versus heat stress results presented significant correlation for FI and WG, but despite positives these correlations also were very low. For FC, the correlation was significant and negative. The residues of the variation were analyzed through the adjusting by the effect of the article and age and the results for all performance variables become non-significant.

Discussion

In order to better organize this study, according to the growing phases, the present research was divided into two data basis that comprehended the phase from 1 to 21 days of

age and the phase over 21 days (Figure 1; Complementary material – Table 1). The broilers react in different ways to the temperature variations according to its growing phases. With the increase of age and weight, the heat sensitivity becomes more expressive, once heat dissipation area becomes smaller (LAGANÁ, 2008). In our research, most of the studies regarding the performance and high temperatures were observed from 21 to 42 days of age (Figure 1; Complementary material – Table 2). The high heat sensitivity observed with the increase of broiler's age is related to its physiological behavior; the main focus of the genetic improvement was the fast growing, aiming heavier carcass with higher breast yield (MARCHINI et al., 2016), however the respiratory and cardiovascular system did not developed at the same speed (HAVENSTEIN; FERKET; QURESHI, 2003). These changes resulted on the increase of the metabolic heat production and body temperature as a consequence of the higher quantity of body mass and the high metabolism rate of the broilers (BORGES et al., 2003b). Besides these physiological changes, the feather coverage in almost all body surface area and the absence of sweat glands contribute for the heat loss process to be more difficult. The feathers work as a thermal insulation, preventing heat dissipation and as per consequence, increasing the body temperature (YAHAV, 1996). The body parts that are not covered by feathers (combs, claw and wattle) present different body temperatures. Laganá et al. (2007) showed that one hour after the beginning of a cyclic stress (25 to 32 °C in 3 hours), broilers were already presenting high temperature on these regions, with difference of more than 5°C, compared to the animals in thermoneutral environment.

On the other hand, few studies of the initial growing phase were found (Figure 1; Complementary material – Table 1). The highest temperature used in the experiments was 37°C in broilers from 8 to 14 days, and 36°C for broilers from 15 to 21 days. Regarding the duration of the exposure to stress, 50% of the studies submitted the animals to constant heat during all the initial phase. In the other studies, the average of the stress duration was 7days,

in a constant stress. The small amount of studies regarding the heat and performance on this phase is due to young animals have higher sensitivity to low temperatures (SOREN, 2012), because their regulatory system is not totally developed yet (GOMES et al., 2012), so the heat provided acts in benefit of the animal, once the thermoregulatory maturity is only reached about 10 days after birth (MORAES et al., 2003) and it is completely developed at 21 days, when the feathers start to appear (LAGANÁ, 2012).

After 21 days, more studies using constant stress were found than using cyclic stress (Table 1). In cyclic heat stress, the variation among heat periods interspersed with normal temperature conditions, provides the broiler an improvement on the capacity of dealing with high temperatures (PIESTUN et al., 2011). Even if the broiler decrease the intake during this heat situation, there are some periods to compensate intake. The biggest losses are observed in constant stress, since in this last situation the body heat production is higher and the energy efficiency is lower (SOUZA et al., 2016). It was observed that broilers in constant stress presented lower digestibility of food, specially proteins and fat (BONNET et al., 1997), decreasing the intestinal villi height and the jejunum weight, decreasing the absorption of nutrients (MITCHELL; CARLISLE, 1992).

The correlation between ΔG and ΔFI of broiler in heat stress condition at 1 to 21 days (A) and after 21 days old (B) showed the intercepts of the equations negatives and different from zero in both cases (Figure 1). According to the equations, with zero variation in feed intake, the ΔWG was $-1,6\%$ and $-1,8\%$, for 1 to 21 and after 21 days old broilers. In animals up to 21 days of age, 90% of the decrease on WG was directly related to decrease of feed intake. In the final phase, 74% of the WG was related to feed intake, while 26% occurred due to other factors (Figure 3). Among other factors that can influence the variation in the feed intake and consequently the weight gain is the high relative humidity that in combination with the high temperature is responsible for impairing the heat transmission from the deeper tissues

to the peripheral tissues in older broilers (LIN et al., 2005b) making more difficult the action of the evaporative cooling (YAHAV, 2000). Even though the relative humidity is extremely important when exposing broilers in high temperature, most studies do not provide data for it. Only 38% of the studies that analyzed heat stress in broilers after 21 days of age provided information on relative humidity and these data generated a prediction equation for the variation in weight gain. This equation presented a higher value of R^2 (0.95) than the others that did not include this variable, however it was not possible to validate this equation because there are few studies that measured RH, as well as few strata of humidity within the same study, which decreases the accuracy of estimates. In both initial and final growing phases the heat stress effect did not significantly influenced the feed conversion and because of this, no prediction equations for this variable were generated in this study. In broilers at the initial growing phase heat stress was significant only for daily weight gain (Table 2). After 21 days of age (Table 3), besides weight gain, food intake was also significantly influenced. At these phases, age also influenced the responses. Increasing age, there is an increase in the heat production and retention, which is different for young animals, where the heat production is not sufficient to increase the body temperature at the point where it can be characterized as heat stress (CHOWDHURY et al., 2012; SOREN, 2012; GOMES et al., 2012; MORAES et al., 2003).

No models showing performance variation when broilers are submitted to heat stress were found in the literature, not allowing the comparison with the models developed at the present study. Gonzalez-Esquerria and Leesson (2005) discuss that the duration and severity of the heat stress may result in different physiological responses and highlight that the comparison between studies is problematic as there is no index that describes accurately the effective degree of the suffering of the broiler during the stress. Besides this, a lot of studies do not make a distinction between long periods and short periods of stress. These authors

define acute stress as the one that persist for less than 7 days, in opposition to the idea of chronic stress. Our analyses show that the stress should also be divided into constant and cyclic. It is possible that during the mildest hours of the day, the broilers have a compensatory gain (RIBEIRO et al 2001), differently from what occurs with the broilers in constant stress, decreasing the chances of mortality spikes.

The validation analysis showed the better accuracy for weight gain in initial phase was presented in the equation 1 (Table 4). After 21 days, the equation 10a was the most accurate to weight gain, and the equation 4^a for feed intake (Table 4). One of the most effective measures to decrease the heat production is the reduction in the feed intake (Teeter, 1985; Geraert et al, 1996; Salabi et al., 2011). The dietary electrolytic balance (DEB) of 250 mEq/kg presented by Mongin (1981), became an ideal goal to many nutritionists. In addition to the fact that it was calculated for animals in thermoneutral environment, the experimental conditions in which he generated this number were very different from current poultry standards: the broilers reach 450 g at 28 days, and the diets had 10% and 20% of Na and 4, 10 and 25% of chlorine. Many authors studying DEB (Borges et al., 2003a; Faria Filho et al., 2005, 2006; Ahmad et al., 2008, Gamba et al., 2015) did not converge to a single number of DEB and no significant effect was observed in the performance of broilers in cyclic heat, even with DEB varying from 0 to 340 mEq/kg (Borges et al, (2003b) (2004).

In our study it was demonstrated the low correlation between DEB and high temperatures and even though some correlations were significant, they were not strong enough. Considering these data, it may be said unlike it was suggested by Mongin (1981), that the homeostasis and consequently the better performance of the animal do not depend of the DEB of the diet, assuming the use of diets with normal levels of Na⁺, K⁺ and Cl⁻ in broilers under heat stress. Other factors are responsible for affecting the physiological balance and interfere in the performance of broilers exposed to heat stress, such as, the animals age, the

ingredients used in the formulation, the protein source - specially animal by-products, the quantity of other elements in the diet and its absorption rate and the environmental conditions, as type and duration of heat exposure.

Conclusions

1. The meta-analytic study allowed the construction of prediction models for weight gain in the initial and final phases and for the feed intake in the final phase of broilers exposed to heat stress, however the models that were created were not very accurate, being necessary the inclusion of more variables in order to generate prediction models more accurate. The feed conversion was not affected by the heat therefore it was not possible to create prediction models.

2. The constant heat stress showed to be more negative than the cyclic heat stress to the performance of broilers after 21 days of age.

3. The correlation between Elb of the diet and the heat stress is very weak, showing that the physiological balance and animal performance are minimally affected or are not dependent of Elb in the diet when the animal is exposed to heat stress.

Declaration of interest

We declare no conflict of interest, including financial, personal, or other relationships with other people or organizations that could inappropriately influence this work.

Ethics statement

This study was performed with data from published papers; consequently, there was no use of animals. In this situation, it is not necessary for the study to be approved by the Animal Ethics Committee of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Software and data repository resources

None of the data were deposited in an official repository.

References

Ahmad, T. et al. Effect of potassium chloride supplementation in drinking water on broiler performance under heat stress conditions. **Poultry Science**, v. 87, p. 1276-1280, 2008.

Baziz, H. A. et al. Chronic heat exposure enhances fat deposition and modifies muscle and fat partition in broiler carcasses. **Poultry Science**, v. 75, n. 4, p. 505-513, 1996.

Borgatti, L. M. O et al. Performance of broilers fed diets with different dietary electrolyte balance under summer conditions. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 6, n. 3, p. 153-157, 2004.

Bonnet, S. et al. Effect of high ambient temperature on feed digestibility in broilers. **Poultry Science**, v. 76, n. 6, p. 857-863, 1997.

Borges, S. A. et al. Electrolytic balance in broiler chicks during the first week of age. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 4, n. 2, p. 149-153, 2002.

Borges, S.A. et al. Dietary electrolyte balance for broiler chickens under moderately high ambient temperatures and relative humidities. **Poultry Science**, v. 82, p. 301-308, 2003a.

Borges, S. A. et al. Dietary electrolyte balance for broiler chickens exposed to thermoneutral or heat-stress environments. **Poultry Science**, v. 82, p. 428–435, 2003b.

Borges, S. A. et al. Fisiologia do estresse calórico e a utilização de eletrólitos em frangos de corte. **Ciência Rural**, v. 33, n. 5, p. 975-981, 2003c.

Borges, S. A. et al. Physiological responses of broiler chickens to heat stress and dietary electrolyte balance (sodium plus potassium minus chloride, milliequivalents per kilogram). **Poultry Science**, v. 83, p. 1551-1558, 2004.

Borges, S. A. et al. Acid-base balance in broilers. **World's Poultry Science Journal**, v. 63, n. 1, p. 73-81, 2007.

Collier, R. J. et al. Heat stress: Physiology of acclimation and adaptation. **Animal Frontiers**, v. 9, n. 1, p. 12-19, 2019.

Chowdhury, V. S. et al. Physiological and behavioral responses of young chicks to high ambient temperature. **Journal of Poultry Science**, v. 49, n. 3, p. 212-218, 2012.

Dale, N. M.; Fuller, H. L. Effect of diet composition on feed intake and growth of chicks under heat stress. II. Constant vs. cycling temperatures. **Poultry Science**, v. 59, n. 7, p. 1434-1441, 1980.

Faria Filho, D. E. et al. Protein levels and environmental temperature effects on carcass characteristics, performance, and nitrogen excretion of broiler chickens from 7 to 21 days of age. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 7, n. 4, p. 247-253, 2005.

Faria Filho, D. E. et al. Dietas de baixa proteína no desempenho de frangos criados em diferentes temperaturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 1, p. 101-106, 2006.

Gamba, J. P. et al. The strategic application of electrolyte balance to minimize heat stress in broilers. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 17, n. 2, p. 237-246, 2015.

Geraert, P. A. et al. Metabolic and endocrine changes induced by chronic heat exposure in broiler chickens: growth performance, body composition and energy retention. **British Journal of Nutrition**, v. 75, n. 2, p. 195-204, 1996.

Gonzalez-Esquerro, R., Leeson, S. Effects of acute versus chronic heat stress on broiler response to dietary protein. **Poultry Science**, v. 84, p. 1562–1569, 2005.

Gomes, A. R. . et al. Estresse por calor na produção de frangos de corte. **PUBVET**, v. 6, 2012.

Havenstein, G. B.; Ferket, P. R.; Qureshi, M. A. Carcass composition and yield of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. **Poultry Science**, v. 82, p. 1509–1518, 2003.

Ibrahim, M. N., Stevens D. G., Shanklin, M. D., Hahn, L. Model of broiler performance as affected by temperature and humidity. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v. 18, p.960-962, 1975.

Laganá, C. et al. Effect of the supplementation of vitamins and organic minerals on the performance of broilers under heat stress. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 9, n. 1, p. 39-43, 2007.

Laganá, C.; Ribeiro, A. M. L. A influência da temperatura na alimentação de frangos de corte. **Boletim de Indústria Animal**, v. 64, p. 79-89, 2007.

Laganá, C. Influência de altas temperaturas na alimentação de frangos de corte. **Pesquisa e Tecnologia**, v. 5, n. 2, 2008.

Laganá, C. Avicultura: cuidados com o inverno. **Pesquisa e Tecnologia**, v. 9, n. 1, 2012.

Lana, G. R. Q. et al. Efeito da temperatura ambiente e da restrição alimentar sobre o desempenho e a composição da carcaça de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 4, p. 1117-1123, 2000.

Lin, H. et al. Thermoregulation responses of broiler chickens to humidity at different ambient temperatures. II. Four weeks of age. **Poultry Science**, v. 84, n. 8, p. 1173–1178, 2005.

Maiorka, A. Efeito do nível de sódio e diferentes relações entre sódio potássio e cloro em dietas pré-iniciais no desempenho de frangos de corte. In: **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, 1998; Botucatu. p.478-480, 1998.

Marchini, C. F. P. et al. Physiology, cell dynamics of small intestinal mucosa, and performance of broiler chickens under heat stress: a review. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**, v. 29, p. 159-168, 2016.

Moraes, V. M. B. et al. Effect of thermal conditioning during embryonic development on aspects of physiological responses of broilers to heat stress. **Journal of Thermal Biology**, v. 28, p.133–140, 2003.

Mitchell, M. A.; Carlisle, A. J. The effects of chronic exposure to elevated environmental temperature on intestinal morphology and nutrient absorption in the domestic fowl (*Gallus domesticus*). **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 101A, n. 1, p. 137-142, 1992.

Piestun, Y. et al. Thermal manipulations during broiler embryogenesis improves post-hatch performance under hot conditions. **Journal of Thermal Biology**, v. 36, p. 469–474, 2011.

Portsmouth, J. Changes needed in nutrient input data relating to leg problems in poultry. **Feedstuffs**, v. 56, p. 43-52, 1984.

Ribeiro, A. M. L.; Penz, A. M. Jr.; Teeter, R. G. Effects of 2-hydroxy-4-(methylthio)butanoic acid and DL-methionine on broiler performance and compensatory growth after exposure to two different environmental temperatures. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 10, n. 4, p. 419-426, 2001.

Richards, S. A. The significance of changes in the temperature of the skin and body core of the chicken in the regulation of heat loss. **The Journal of Physiology**, v. 216, p.1–10, 1971.

Salabi, F. Effects of different levels of zinc on the performance and carcass characteristics of broiler reared under heat stress condition. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v. 10, p. 1332-1335, 2011.

Sayed, M. A. M.; Downing, J. Effects of dietary electrolyte balance and addition of electrolyte-betaine supplements in feed or water on performance, acid-base balance and water retention in heat stressed broilers. **British Poultry Science**, v. 56, p. 195-209, 2015.

Soren, N. M. Nutritional manipulations to optimize productivity during environmental stresses in livestock. *In*: SEJIAN, V. **Environmental stress and amelioration in livestock production**. [s.l.] Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012.

Souza, L. F. A. et al. How heat stress (continuous or cyclical) interferes with nutrient digestibility, energy and nitrogen balances and performance in broilers. **Livestock Science**, v. 192, p. 39–43, 2016.

Teeter, R. G. Chronic heat stress and respiratory alkalosis: occurrence and treatment in broiler chicks. **Poultry Science**, v. 64, p. 1060-1064, 1985.

Theil, H. Applied Economic Forecasting. North Holland Publishing Co, Amsterdam, The Netherlands, 1966.

Yahav, S. et al. Physiological responses of chickens and turkeys to relative humidity during exposure to high ambient temperature. **Journal of Thermal Biology**, v. 20, n. 3, p. 245–253, 1995.

Yahav, S. Relative humidity at moderate ambient temperatures: its effect on male broiler chickens and turkeys. **British Poultry Science**, v. 41, p. 94–100, 2000.

Yahav, S. et al. Ventilation, sensible heat loss, broiler energy, and water balance under harsh environmental conditions. **Poultry Science**, v. 83, p. 253–258, 2004.

Yahav, S. et al. The effect of ventilation on performance body and surface temperature of young turkeys. **World's Poultry Science Journal**, v. 61, p. 419-434, 2005.

Table 1. Performance variation ($\Delta\%$) of broilers in heat stress condition.

	Control	S.E.	Δ , %	S.E.	<i>P</i> -values ¹	
					Heat effect	Stress type ²
1 to 21 days						
Feed intake, g/day	55.59	4.92	-9.22	1.68	0.939	-
Weight gain, g/day	40.24	3.25	-12.33	2.45	0.001	-
Feed conversion, g/g	1.36	0.04	5.53	3.58	0.511	-
After 21 days						
Feed intake, g/day	174.93	2.11	-11.62	0.73	<0.001	0.003
Weight gain, g/day	86.51	1.04	-15.01	1.06	0.001	0.016
Feed conversion, g/g	2.04	0.02	6.28	0.88	0.236	0.434

n = number of studies.

S.E. = standard error.

- = not specified

¹ Study effect was included in all models ($P < 0.05$).

² Means by stress type = feed intake – after 21 days, Constant: -29.17 g/day, Cyclic: -19.97 g/day; weight gain – after 21 days, Constant: -20.63 g/day, Cyclic: -15.83 g/day.

Table 2. Prediction equations on performance variation in broiler at heat stress 1 to 21 days.

		Regression			R ²
		Intercept	ΔT	ΔT^2	
Variation (%)	Equation				
ΔWG	1	22.76**	-5.546***		0.90

ΔT = Variation temperature; WG= weight gain; R²= coefficient of determination; g/day=grams/day.

***P<0.001; **P<0.01.

Table 3. Prediction equations on performance variation in broiler at heat stress after 21 days.

Variation (%)	Equation	Regression					R ²
		Intercept	ΔT	ΔT^2	I	I ²	
ΔFI	1a	1.01 ^{NS}	-1.397***				0.70
ΔFI	2a	-1.89 ^{NS}	-0.102 ^{NS}	-0.0840**			0.71
ΔFI	3a	12.11**	-1.327***	-0.341**			0.72
ΔFI	4a	37.1*	-1.308***	-1.85 ^{NS}	0.0221 ^{NS}		0.72
ΔFI	5a	35.3 ^{NS}	-0.149 ^{NS}	-0.0756**	-1.93 ^{NS}	0.0238 ^{NS}	0.73
ΔWG	6a	1.27 ^{NS}	-2.059***				0.74
ΔWG	7a	-2.54 ^{NS}	-0.345 ^{NS}	-0.1112**			0.75
ΔWG	8a	16.05**	-1.976***	-0.447**			0.75
ΔWG	9a	83.6**	-1.923***	-4.52**	0.0596**		0.76
ΔWG	10a	81.1**	-0.328 ^{NS}	-0.1040	-4.64**	0.0620**	0.77

ΔT = Variation temperature; I= age (days); FI= feed intake; WG= weight gain; R²= coefficient of determination;

NS= not significant; ***P<0.001; **P<0.01; *P<0.05; ^{NS}P>0.05.

Table 4. Agreement between the feed intake (FI) and weight gain (WG) variation estimated by the empirical models and the observed values in heat stress broilers.

Model	Mean	SD ¹	Estimated vs observed		MSPE ⁴	MSPE		
			p^2	r^3		ECT	ER	ED
ΔWG (%), 1 to 21 days*								
Observed	-9.05	7.62						
Equation 1	-4.85	4.84	0.030	0.53	60.20	17.67	25.65	16.88
ΔFI (%), after 21 days								
Observed	-11.09	10.50						
Equation 1 ^a	-13.06	3.51	0.351	0.37	99.33	3.87	84.80	10.67
Equation 2 ^a	-11.95	4.89	0.697	0.33	101.16	0.73	79.06	21.37
Equation 3 ^a	-11.74	4.34	0.764	0.49	85.02	0.42	70.20	14.40
Equation 4 ^a	-11.71	5.01	0.780	0.50	82.62	0.38	63.54	18.70
Equation 5 ^a	-10.79	6.04	0.896	0.46	88.98	0.09	59.94	28.94
ΔWG (%), after 21 days								
Observed	-18.87	10.62						
Equation 6 ^a	-19.15	4.62	0.916	0.62	135.90	65.00	57.87	13.03
Equation 7 ^a	-17.43	6.29	0.615	0.59	111.56	40.23	45.74	25.59
Equation 8 ^a	-17.74	5.60	0.683	0.63	111.27	44.16	48.28	18.83
Equation 9 ^a	-17.88	7.26	0.739	0.62	114.20	46.10	35.80	32.30
Equation 10 ^a	-16.64	8.44	0.478	0.63	101.35	30.78	27.22	43.35

¹ SD: Standard deviation. ² p : Probability comparing estimated and observed values (F test). ³ Correlation between estimated and observed values. ⁴ MSPE: mean squared prediction error; composed by ECT: error of central tendency; ER: error of regression; and ED: error due to disturbances.

*Validation 1 to 21 days was composed by 171 observations, and after 21 days old was composed by 169 observations.

Table 5. Correlations between electrolyte balance and the performance of broilers in heat stress after 21 days old.

		FI	WG	FC
Performance	Control treatment, g/d	-0.089 ^{ns}	-0.068 ^{ns}	-0.032 ^{ns}
	Heat stress treatment, g/d	0.055 ^{ns}	0.123 ^{ns}	-0.144 ^{ns}
Residues ¹	Control treatment, g/d	0.028 ^{ns}	-0.130 ^{ns}	-0.019 ^{ns}
	Heat stress treatment, g/d	0.194 [*]	-0.035 ^{ns}	-0.016 ^{ns}
Variation (control vs heat stress treatments), %		0.163 [*]	0.242 [*]	-0.179 [*]
Residues ¹ of the variation (control vs heat stress treatments), %		-0.032 ^{ns}	0.013 ^{ns}	-0.006 ^{ns}

FI= feed intake; WG= weight gain; FC= feed conversion; *P<0.05, ^{ns}P>0.05.

¹ Adjusted by study and age effects.

Variation in bel values was between 40 mEq/kg for 362 mEq/kg.

Figure captions

Figure 1. Meta-design: within-experiment temperature and age in days in broiler. Each experiment is indicated by a cross, of which the horizontal line indicates the age, and the vertical line indicates the ambient temperature.

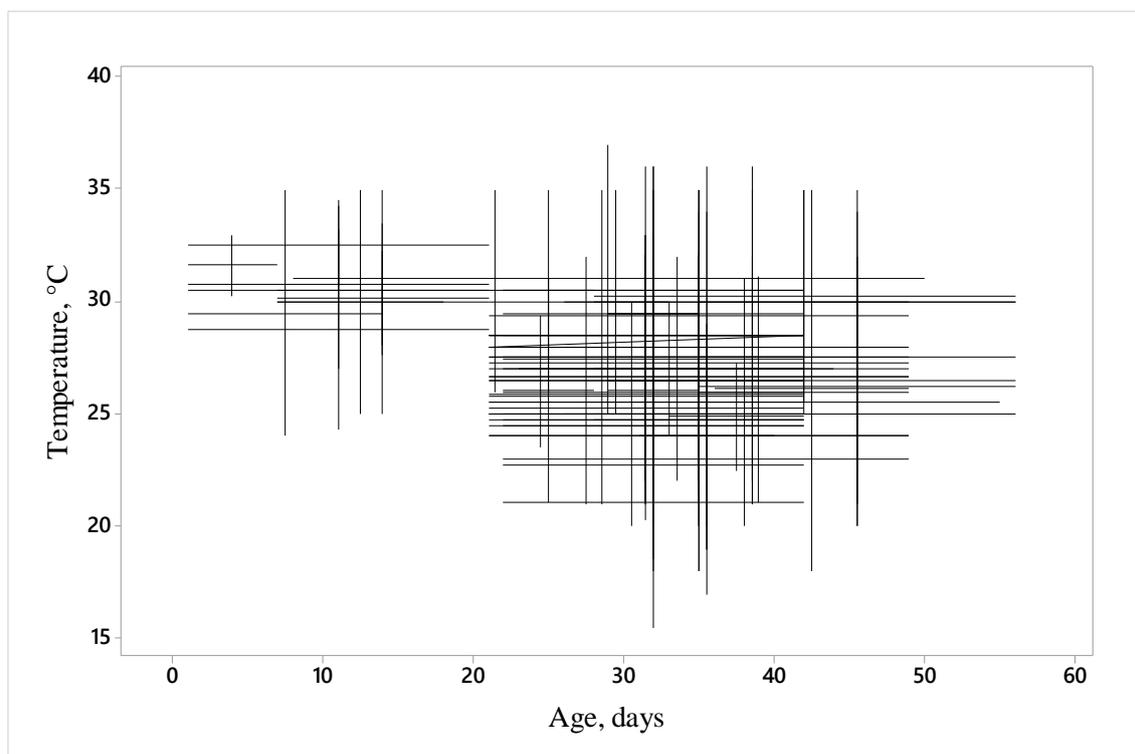


Figure 2. Performance variation (Δ) responses of heat stress treatments relativized to the respective control treatment in the database in 1 to 21 days (A and B) and after 21 days (C and D). Cyclic heat stress is represented by white circles (\circ) and constant heat stress is represented by black circles (\bullet) in both database.

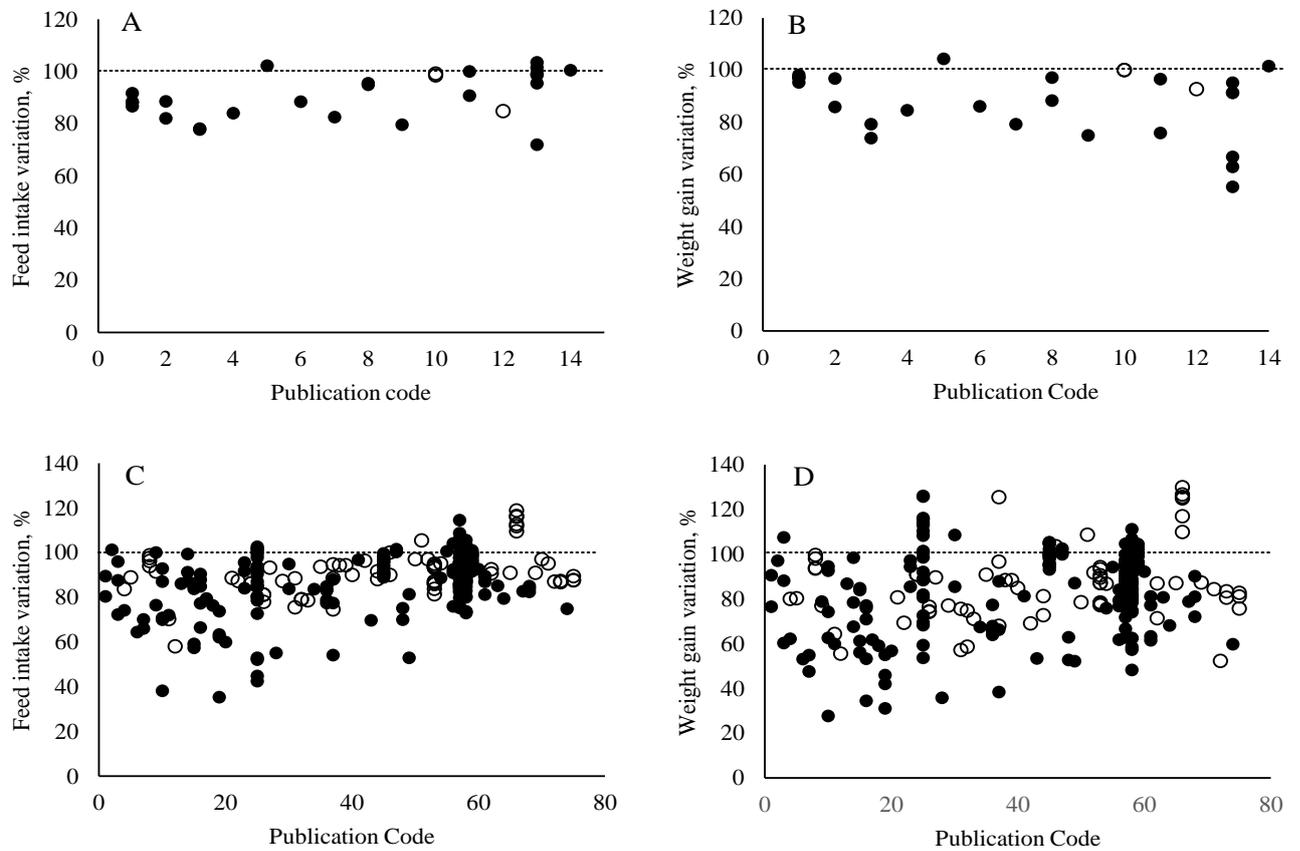
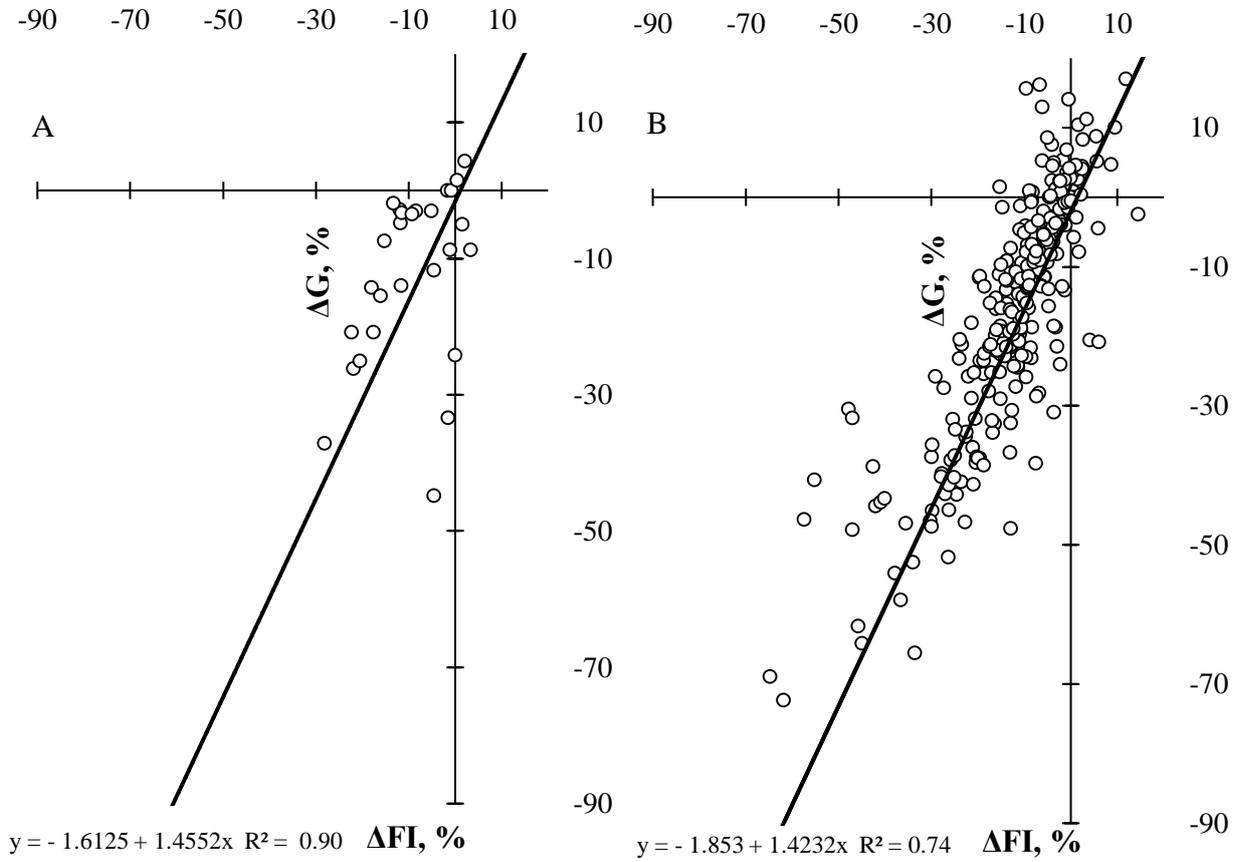


Figure 3. Relationship between weight gain variation (ΔWG) and feed intake variation (ΔFI) of broilers in heat stress condition at 1 to 21 days (A) and after 21 days old (B).



Complementary material

Table 6. Description of database used in the meta-analysis 1 to 21 days of broilers.

Reference							
First author	Year	Genetic Line	Animals (n)	Sex	Stress type	Bel	RH
1- Cella	2001	1	480	M	Co	A	A
2- Oliveira	2006	1	180	M	Co	A	P
3- Shan	2003	1	2748	-	Co	A	P
4- Sohail	2012	1	450	-	Co	A	A
5- Jahromi	2016	2	192	M	Co	A	A
6- DE Antonio	2017	2	441	M	Co	P	P
7- Dahlke	2005	2	720	M	Co	P	A
8- Silva	2009	2	1440	M	Co	A	A
9- Faria Filho	2005	2	900	M	Co	P	P
10- Fernandes	2013	1	980	M	Cy	A	A
11- Attou	2011	3	300	M	Co	A	A
12- Celik	2003	1	64	M	Cy	A	A
13- Damasceno	2017	2	600	-	Co	A	P
14- Olfati	2018	-	180	-	Co	A	A

Bel= electrolyte balance; RH= relative humidity; 1= Ross; 2= Cobb; 3= Hubbard; M= male; - = not specified, Co= constant; Cy= cyclic; P= presence; A= absent

Table 7. Description of database used in the meta-analysis after 21 days old of broilers.

Reference	First author	Year	Genetic Line	Animals (n)	Sex	Stress type	Bel	RH
1-	Al-Batshan	2002	3	256	-	-	A	P
2-	Alhenaky	2017	3	72	-	Co	A	P
3-	Al-Fataftah	2007	5	640	-	Co/Cy	A	P
4-	Souza	2016	2	450	M	Co/Cy	P	P
5-	Bartlett	2003	4	144	M	Co/Cy	A	A
6-	Ain Baziz	1996	-	108	M	Co	A	P
7-	Bonnet	1997	5	80	M	Co	A	P
8-	Borges	2003	1	480	M	Co/Cy	P	P
9-	Brake	1998	-	80	M	Co/Cy	P	A
10-	Cheng	1997	6	1440	M	Co	A	A
11-	Cheng	1999	6	648	M	Co/Cy	A	A
12-	Dai	2011	4	360	M	Cy	A	A
13-	Abu-Dieyeh	2006	5	480	-	Co/Cy	A	P
14-	Donkoh	1989	1	192	M	Co	A	P
15-	Oliveira	2006	1	180	M	Co	A	P
16-	Faria Filho	2006	2	360	M	Co	P	P
17-	Garriga	2006	-	36	M	Co	A	P
18-	Geraert	1996a	-	54	M	Co	A	P
19-	Gu	2008	4	216	M	Co	A	P
20-	Habashy	2017	2	48	M	Co	A	A
21-	Habibian	2014	2	360	-	Co/Cy	A	P
22-	Hajjalizadeh	2017	1	320	-	Co/Cy	A	A
23-	Howlider	1992	1	1920	MF	Co	A	A
24-	Laganá	2007	1	288	M	Co/Cy	A	P
25-	Leeson	2005	1	1116	M	Co	P	A
26-	Liu	2016	4	216	MF	Co/Cy	A	A
27-	Liu	2017	1	400	M	Co/Cy	A	P
28-	Lu	2007	4	108	M	Co	A	P
29-	Niu	2009	4	240	M	Co/Cy	A	A
30-	Oliveira	2006	-	336	M	Co	A	A
31-	Pope	2002	2	240	M	Co/Cy	A	A
32-	Quinteiro-Filho	2010	-	180	M	Co/Cy	A	A
33-	Quinteiro-Filho	2012	-	240	M	Co	A	A
34-	Sohail	2012	1	450	-	Co	A	A
35-	Song	2014	1	360	M	Co/Cy	A	A
36-	Temim	2000	7	216	M	Co	A	P
37-	Yahav	1996	2	960	M	Co/Cy	A	A
38-	Wan	2017	4	320	M	Co/Cy	A	A
39-	Wan	2017	4	320	M	Co/Cy	A	A
40-	Zhang	2017	2	270	M	Co/Cy	A	P
41-	Hashizawa	2013	1	28	F	Co	A	A
42-	Al-Fataftah	2014	3	480	M	Co/Cy	A	P
43-	Aljubori	2017	2	200	M	Co	A	A
44-	Toplu	2014	1	320	M	Co/Cy	A	P

45- Siqueira	2007	1	672	M	-	A	A
46- He	2015	4	540	-	Co	A	P
47- Alleman	1997	1	72	-	Co	A	A
48- Cerniglia	1983	2	240	-	Co	A	A
49- Sohail	2013	3	250	-	Co/Cy	A	P
50- Gunal	2013	1	240	F	-	A	A
51- Song	2017	4	96	M	Co/Cy	A	A
52- Rehman	2018	1	240	-	Co/Cy	A	P
53- Aksit	2006	1	480	-	Co/Cy	A	A
54- Abdelqader	2016	3	64	M	Co	A	P
55- Attou	2011	3	300	M	Co	A	A
56- May	1998	1	380	M	-	A	A
57- May	2001	1	750	MF	Co	A	A
58- Lott	1992	-	1920	MF	Co	A	A
59- Cadirci	2014	1	480	MF	Co	A	A
60- Aljuobori	2016	2	240	M	Co	A	A
61- Habibian	2015	2	120	MF	Co/Cy	A	A
62- Jahanian	2015	1	450	-	Co	A	A
63- Zeferino	2015	2	384	M	Co	A	A
64- Zhang	2015	4	400	-	Co/Cy	A	A
65- Sayed	2014	2	320	M	Co/Cy	P	A
66- Lu	2018	4	144	M	Co	A	A
67- He	2018	4	144	M	Co	A	A
68- Zhang	2018	4	400	-	-	A	A
69- Hosseini-Vashan	2015	-	352	M	Co	A	A
70- Arcila	2018	2	140	-	Co/Cy	A	P
71- Olfati	2018	-	120	-	Co	A	P
72- Mendes	1997	1	216	M	Co/Cy	A	A
73- Chegini	2017	1	380	M	Co/Cy	A	A
74- Heidari	2013	2	150	M	Co/Cy	A	A

Bel= electrolyte balance; RH= relative humidity; 1= Ross; 2= Cobb; Hubbard= 3; Arbor Acre= 4; Isa Vedette= 5; Arbor Acre x Ross= 6; ISA JV15= 7; M= male; F= female; MF= male/female; - = not specified, Co= constant; Cy= cyclic; P= presence; A= absent.

Table 8. Prediction equations (g/day) on performance variation in broiler at heat stress 1 to 21 days.

	Equation	Regression			R ²
		Intercept	ΔT	ΔT^2	
Variation (g/day)					
ΔWG	1	18.66**	-3.803***		0.86

ΔT = Variation temperature; WG= weight gain; R²= coefficient of determination; g/day=grams/day.

***P<0.001; **P<0.01.

Table 9. Prediction equations (g/day) on performance variation in broiler at heat stress after 21 days.

Variation (g/day)	Equation	Regression					R ²
		Intercept	ΔT	ΔT^2	I	I ²	
ΔFI	1a	6.58 ^{NS}	-2.704***				0.60
ΔFI	2a	1.59 ^{NS}	-0.476 ^{NS}	-0.1446*			0.61
ΔFI	3a	38.37***	-2.516***	-0.970***			0.63
ΔFI	4a	130.2**	-2.444***	-6.51**	0.0810*		0.64
ΔFI	5a	127.2**	-0.570 ^{NS}	-0.1222*	-6.64**	0.0838**	0.65
ΔWG	6a	0.56 ^{NS}	-1.615***				0.69
ΔWG	7a	-2.24 ^{NS}	-0.351 ^{NS}	-0.0820*			0.70
ΔWG	8a	15.85**	-1.531***	-0.462**			0.71
ΔWG	9a	71.5**	-1.487***	-3.82**	0.0491**		0.72
ΔWG	10a	69.7**	-0.362 ^{NS}	-0.0733*	-3.90**	0.0508**	0.73

ΔT = Variation temperature; I= age (days); FI= feed intake; WG= weight gain; R²= coefficient of determination; g/day= grams/day; NS= not significant; ***P<0.001; **P<0.01; *P<0.05; ^{NS}P>0.05.

Table 10. Agreement between the feed intake (FI) and weight gain (WG) variation estimated by the empirical models and the observed values in heat stress broilers.

Model	Mean	SD ¹	Estimated vs observed		MSPE ⁴	MSPE		
			p^2	r^3		ECT	ER	ED
ΔWG (g), 1 to 21 days*								
Observed	-5.84	6.36						
Equation 1a	-2.26	6.43	0.040	0.22	76.69	12.88	24.48	39.34
ΔFI (g), after 21 days								
Observed	-18.59	14.74						
Equation 2a	-19.95	6.30	0.712	0.55	156.21	78.59	49.76	27.86
Equation 3a	-17.75	8.46	0.831	0.51	135.43	44.36	38.14	52.94
Equation 4a	-16.06	9.22	0.530	0.64	96.41	24.68	21.31	50.42
Equation 5a	-15.76	12.05	0.521	0.64	115.20	21.80	7.70	85.70
Equation 6a	-14.07	13.30	0.328	0.63	120.28	8.87	4.51	106.90
ΔWG (g), after 21 days								
Observed	-14.73	8.10						
Equation 7a	-15.46	3.63	0.723	0.73	86.66	19.08	61.47	6.10
Equation 8a	-14.18	4.85	0.800	0.74	68.28	9.55	47.95	10.78
Equation 9a	-14.00	4.71	0.735	0.61	80.55	8.46	58.16	13.93
Equation 10a	-14.19	6.12	0.818	0.56	85.59	9.63	50.17	25.79
Equation 11a	-13.19	6.88	0.532	0.62	73.09	4.43	39.22	29.45

¹ SD: Standard deviation. ² p : Probability comparing estimated and observed values (F test). ³ Correlation between estimated and observed values. ⁴ MSPE: mean squared prediction error; composed by ECT: error of central tendency; ER: error of regression; and ED: error due to disturbances.

*Validation 1 to 21 days was composed by 171 observations, and after 21 days old was composed by 169 observations.

CAPÍTULO III

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estresse por calor afeta de forma direta o equilíbrio térmico, com sérias consequências no desempenho e na produção de frangos de corte. Quando a temperatura ambiente se encontra acima do preconizado como conforto térmico, as aves diminuem o consumo de alimentos, na tentativa de manter o equilíbrio corporal, porém esse ajuste no consumo tem consequências diretas no desempenho. Essas consequências puderam ser observadas na presente pesquisa, desenvolvida com o auxílio da ferramenta de meta-análise.

Durante a construção das bases de dados que deram suporte aos resultados aqui apresentados, foram encontradas dificuldades relacionadas à falta de informações de fatores essenciais para avaliar as respostas dos animais em altas temperaturas, como a umidade relativa do ar, a ausência de dados em grande maioria dos trabalhos mostrando o consumo de água. Além disso, alguns trabalhos estudaram a relação entre o desempenho e o estresse por calor não respeitando as duas fases de criação propostas (entre 14 a 28 dias, por exemplo) e não puderam ser computados enquanto outros autores trabalharam com restrição alimentar. A definição do tipo de estresse também não foi tarefa fácil, visto que há várias particularidades nos experimentos como a duração dos dias de calor, as máximas e mínimas usadas e a idade de início e fim da aplicação do calor. Todas essas variáveis ajudaram a diminuir a precisão dos modelos gerados.

Por meio do emprego da meta-análise foi possível demonstrar que as variações nas respostas de desempenho mostradas pelos autores diferem quanto ao tipo de calor a que os animais são submetidos, uma vez que as respostas variam dependendo da severidade e do tempo de exposição ao calor, porém em alguns casos essa classificação é negligenciada ou feita de forma errônea. Esses resultados são de fundamental importância para a cadeia, pois permitem que a tomada de decisão quanto a aplicação das medidas necessárias seja feita de forma eficiente e baseada no grau de estresse por calor a que os animais forem submetidos.

Quanto ao balanço eletrolítico, há muito tempo se preconiza a prática da formulação de dietas com o valor ideal de 250 mEq/kg para corrigir desequilíbrios na homeostase e melhorar o desempenho dos animais expostos ao estresse por calor. Ao contrário desta informação amplamente divulgada na literatura, o que se observa

diante dos resultados aqui apresentados é que a homeotermia e conseqüentemente o desempenho das aves é muito pouco influenciado por esta variável.

Também, através do uso da meta-análise foi possível agrupar dados relacionando o estresse por calor e o desempenho obtidos de forma individual, e a partir deste ponto foi possível a construção de modelos de predição em situações de estresse por calor para as variáveis de ganho de peso e consumo alimentar. Entretanto, não foi possível a construção de modelos para a conversão alimentar. Isso demonstra que a queda no ganho de peso é mais relacionada à queda no consumo do que a ineficiências no metabolismo da ave.

Pesquisas futuras nessa área que incluam maior número de variáveis essenciais para o desenvolvimento destes modelos e que não foram possíveis de serem incluídas no presente estudo são de fundamental importância para que se possam determinar equações de predição de forma mais acurada que auxiliem na tomada de decisão, e consigam minimizar as perdas causadas pelo estresse por calor na produção de frangos de corte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDELQADER, A.; AL-FATAFTAH, A. R. Effect of dietary butyric acid on performance, intestinal morphology, microflora composition and intestinal recovery of heat-stressed broilers. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 183, p. 78–83, 2016.
- AHMAD, T.; SARWAR, M. Dietary electrolyte balance: implications in heat stressed broilers. **World's Poultry Science Journal**, Ithaca, v. 62, n. 4, p. 638–653, 2006.
- ALJUOBORI, A. *et al.* Higher inclusion rate of canola meal under high ambient temperature for broiler chickens. **Poultry Science**, Champaign, v. 95, n. 6, p. 1326–1331, 2016.
- ALLEMAN, F.; LECLERCQ, B. Effect of dietary protein and environmental temperature on growth performance and water consumption of male broiler chickens. **British Poultry Science**, Edinburg, v. 38, n. 5, p. 607–610, 1997.
- ALM, M. *et al.* Welfare indicators in laying hens in relation to nest exclusion. **Poultry Science**, Champaign, v. 95, n. 6, p. 1238–1247, 2016.
- ATTOU, S.; ATTOU, G. S.; BOUDEROUA, K. Effects of early and chronic exposure to high temperatures on growth performance, carcass parameters and fatty acids of subcutaneous lipid of broilers. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v. 10, n. 57, p. 12339–12347, 2011.
- AVERÓS, X. *et al.* Meta-analysis on the effects of the physical environment, animal traits, feeder and feed characteristics on the feeding behaviour and performance of growing-finishing pigs. **Animal**, Cambridge, v. 6, n. 8, p. 1275–1289, 2012.
- AZAD, M. A. K. *et al.* Metabolic characteristics and oxidative damage to skeletal muscle in broiler chickens exposed to chronic heat stress. **Comparative Biochemistry and Physiology, Part A**, Oxford, v. 155, n. 3, p. 401–406, 2010.
- BACCARI JUNIOR, F. Manejo ambiental para produção de leite em climas quentes. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, 2.*, 1998, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: SBBIOMET, 1998. p. 136-161.
- BARACHO, M. S. *et al.* Surface temperature distribution in broiler houses. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 13, n. 3, p. 177–182, 2011.
- BARTLETT, J. R.; SMITH, M. O. Effects of different levels of zinc on the performance and immunocompetence of broilers under heat stress. **Poultry Science**, Champaign, v. 82, p. 1580–1588, 2003.
- BELAY, T.; TEETER, R. G. Broiler water balance and thermobalance during thermoneutral and high ambient temperature exposure. **Poultry Science**, Champaign, v. 72, n. 1, p. 116–124, 1993.
- BONNET, S. *et al.* Effect of high ambient temperature on feed digestibility in broilers. **Poultry Science**, Champaign, v. 76, p. 857–863, 1997.

- BORGES, S. A. *et al.* Dietary electrolyte balance for broiler chickens under moderately high ambient temperatures and relative humidities. **Poultry Science**, Champaign, v. 82, p. 301-308, 2003a.
- BORGES, S. A. *et al.* Dietary electrolyte balance for broiler chickens exposed to thermoneutral or heat stress environments. **Poultry Science**, Champaign, v. 82, n. 3, p. 428–435, 2003b.
- BORGES, S. A. *et al.* Electrolyte balance in broiler growing diets. **International Journal of Poultry Science**, Faisalabad, v. 3, n. 10, p. 623–628, 2004a.
- BORGES, S. A. *et al.* Physiological responses of broiler chickens to heat stress and dietary electrolyte balance (sodium plus potassium minus chloride, milliequivalents per kilogram). **Poultry Science**, Champaign, v. 83, n. 9, p. 1551-1558, 2004b.
- BORGES, S. A.; FISCHER DA SILVA, A. V.; MAIORKA, A. Acid-base balance in broilers. **World's Poultry Science Journal**, Ithaca, v. 63, n. 1, p. 73–81, 2007.
- BRANTON, S. L.; REECE, F. N.; DEATON, J. W. Use of ammonium chloride and sodium bicarbonate in acute heat exposure of broilers. **Poultry Science**, Champaign, v. 65, n. 9, p. 1659–1663, 1986.
- BRAKE, J.; YAHAV, S. Response of poultry to environmental challenges. *In*: COLLIER, R. J.; COLLIER, J. L. **Environmental physiology of livestock**. Oxford: John Wiley, 2012. cap. 17, p. 309-335.
- BRUNO, L. D. *et al.* Water intake behavior of broiler chickens exposed to heat stress and drinking from bell or and nipple drinkers. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 13, n. 2, p. 147–152, 2011.
- BURKHOLDER, K. M. *et al.* Influence of stressors on normal intestinal microbiota, intestinal morphology, and susceptibility to *Salmonella Enteritidis* colonization in broilers. **Poultry Science**, Champaign, v. 87, n. 9, p. 1734-1741, 2008.
- CADIRCI, S.; KONCAGUL, S. Possible effects of delivering methionine to broilers in drinking water at constant low and high environmental temperatures. **Italian Journal of Animal Science**, Bologna, v. 13, n. 1, p. 93–97, 2014.
- CERNIGLIA, G. J.; HEBERT, J. A.; WATTS, A. B. The effect of constant ambient temperature and ration on the performance of sexed broilers. **Poultry Science**, Champaign, v. 62, n. 5, p. 746–754, 1983.
- CHARMANDARI, E.; TSIGOS, C.; CHROUSOS, G. Endocrinology of the stress response. **Annual Review of Physiology**, Palo Alto, v. 67, p. 259–284, 2005.
- CHOWDHURY, V. S. *et al.* Physiological and behavioral responses of young chicks to high ambient temperature. **The Journal of Poultry Science**, Tsukuba, v. 49, n. 3, p. 212–218, 2012.

COCKREM, J. F. Stress, corticosterone responses and avian personalities. **Journal of Ornithology**, Heidelberg, v. 148, n. 2, p. 169-178, 2007.

COLLIER, R. J.; GEBREMEDHIN, K. G. Thermal biology of domestic animals. **Annual Review of Animal Biosciences**, Palo Alto, v. 3, n. 1, p. 513–532, 2015.

COLLIER, R. J. *et al.* Heat stress: physiology of acclimation and adaptation. **Animal Frontiers**, London, v. 9, n. 1, p. 12–19, 2019.

DAGHIR, N. Nutritional strategies to reduce heat stress in broilers and broiler breeders. **Lohmann Information**, Cuxhaven, v. 44, n. 1, p. 6–15, 2009.

DAI, S. F. *et al.* Effects of dietary glutamine and gamma-aminobutyric acid on performance, carcass characteristics and serum parameters in broilers under circular heat stress. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 168, n. 1/2, p. 51–60, 2011.

DANFORTH, E.; BURGER, A. The role of thyroid hormones in the control of energy expenditure. **Clinics in Endocrinology and Metabolism**, London, v. 13, n. 3, p. 581–595, 1984.

DEYHIM, F.; TEETER, R.G. Research note: sodium and potassium chloride drinking water supplementation effects on acid-base balance and plasma corticosterone in broilers reared in thermoneutral and heat-distressed environments. **Poultry Science**, Champaign, v. 70, n. 12, p. 2551–2553, 1991.

DICKENS, M. J.; DELEHANTY, D. J.; ROMERO, L. M. Stress: an inevitable component of animal translocation. **Biological Conservation**, Essex, v. 143, n. 1329-1341, 2010.

EARLEY, B. *et al.* Biologic response of animals to husbandry stress with implications for biomedical models. **Open Access Animal Physiology**, Auckland, v. 2, p. 25–42, 2010.

ETCHES, R. J.; JOHN, T. M.; VERRINDER GIBBINS, A. M. Behavioral, physiological, neuroendocrine and molecular responses to heat stress. *In*: DAGHIR, N. J. **Poultry production in hot climates**. 2th ed. Cambridge: CABI North American Office, 2008. cap. 4, p. 49-69.

FARIA FILHO, D. *et al.* Protein levels and environmental temperature effects on carcass characteristics, performance, and nitrogen excretion of broiler chickens from 7 to 21 days of age. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 7, n. 4, p. 247–253, 2005.

FARIDI, A.; GITOE, A.; FRANCE, J. A meta-analysis of the effects of nonphytate phosphorus on broiler performance and tibia ash concentration. **Poultry Science**, Champaign, v. 94, n. 11, p. 2753-2762, 2015.

FURLAN, R. L. *et al.* Does low-protein diet improve broiler performance under heat stress conditions? **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 6, n. 2, p. 71-79, 2004.

GAMBA, J. P. *et al.* The strategic application of electrolyte balance to minimize heat stress in broilers. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 237–246, 2015.

GERAERT, P. A.; PADILHA, J. C.; GUILLAUMIN, S. Metabolic and endocrine changes induced by chronic heat exposure in broiler chickens: growth performance, body composition and energy retention. **British Journal of Nutrition**, Wallingford, v. 75, n. 2, p. 195–204, 1996a.

GERAERT, P. A.; PADILHA, J. C. F.; GUILLAUMIN, S. Metabolic and endocrine changes induced by chronic heat exposure in broiler chickens: biological and endocrinological variables. **British Journal of Nutrition**, Wallingford, v. 75, n. 2, p. 205–216, 1996b.

GOMES, A. R. *et al.* Estresse por calor na produção de frangos de corte. **PUBVET**, Maringá, v. 6, n. 34, [art.] 1469, 2012.

GONZALES-ESQUERRA, R.; LEESON, S. Physiological and metabolic responses of broilers to heat stress - implications for protein and amino acid nutrition. **World's Poultry Science Journal**, Ithaca, v. 62, n. 2, p. 282-295, 2006.

GU, X. H.; LI, S. S.; LIN, H. Effects of hot environment and dietary protein level on growth performance and meat quality of broiler chickens. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, Seoul, v. 21, n. 11, p. 1616–1623, 2008.

GUPTA, A. R. Ascites syndrome in poultry: a review. **World's Poultry Science Journal**, Ithaca, v. 67, n. 3, p. 457–468, 2011.

HAVENSTEIN, G. B.; FERKET, P. R.; QURESHI, M. A. Carcass composition and yield of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. **Poultry Science**, Champaign, v. 82, n. 10, p. 1509–1518, 2003.

HE, S. *et al.* Effects of dietary betaine on growth performance, fat deposition and serum lipids in broilers subjected to chronic heat stress. **Animal Science Journal**, Richmond, v. 86, n. 10, p. 897–903, 2015.

HE, X. *et al.* Effects of chronic heat exposure on growth performance, intestinal epithelial histology, appetite-related hormones and genes expression in broilers. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 98, n. 12, p. 4471–4478, 2018.

HONDA, K. *et al.* Central administration of insulin suppresses food intake in chicks. **Neuroscience Letters**, Amsterdam, v. 423, n. 2, p. 153–157, 2007.

HOWLIDER, M. A. R.; ROSE, S. P. The response of growing male and female broiler chickens kept at different temperatures to dietary energy and feed form. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 39, n. 1/2, p. 71–78, 1992.

HURWITZ, S. *et al.* Sodium and chloride requirements of the chick: relationship to acid-base balance. **Poultry Science**, Champaign, v. 52, n. 3, p. 903–909, 1973.

IPEK, A.; SAHAN, U. Effects of cold stress on broiler performance and ascites susceptibility. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, Seoul, v. 19, n. 5, p. 734–738, 2006.

JAHANIAN, R.; RASOULI, E. Dietary chromium methionine supplementation could alleviate immunosuppressive effects of heat stress in broiler chicks. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 93, n. 7, p. 3355–3363, 2015.

JAHEJO, A. R. *et al.* Effects of heat stress on the performance of hubbard broiler chicken cells, animal and therapeutics effects of heat stress on the performance of hubbard broiler chicken. **Cells, Animal and Therapeutics**, [s.l.], v. 2, n. 1, p. 1–5, 2016.

KUMAR, M. *et al.* Strategies to minimize heat stress in broiler and layer chickens. **Research and Reviews: Journal of Dairy Science and Technology**, Noida, v. 6, n. 2, p. 26–30, 2017.

LAGANÁ, C. *et al.* Effects of the reduction of dietary heat increment on the performance, carcass yield, and diet digestibility of broilers submitted to heat stress. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 9, n. 1, p. 45–51, 2007a.

LAGANÁ, C. *et al.* Effect of the supplementation of vitamins and organic minerals on the performance of broilers under heat stress. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 9, n. 1, p. 39–43, 2007b.

LAGANÁ, C. Influência de altas temperaturas na alimentação de frangos de corte. **Pesquisa & Tecnologia**, [s.l.], v. 5, n. 2, [p. 1-9], 2008.

LARA, L. J.; ROSTAGNO, M. H. Impact of heat stress on poultry production. **Animals, Open Access Journal**, Basel, v. 3, n. 2, p. 356–369, 2013.

LIN, H. *et al.* Thermoregulation responses of broiler chickens to humidity at different ambient temperatures. I. One week of age. **Poultry Science**, Champaign, v. 84, n. 8, p. 1166–1172, 2005a.

LIN, H. *et al.* Thermoregulation responses of broiler chickens to humidity at different ambient temperatures. II. Four weeks of age. **Poultry Science**, Champaign, v. 84, n. 8, p. 1173–1178, 2005b.

LIU, H. W. *et al.* Effects of chestnut tannins on intestinal morphology, barrier function, pro-inflammatory cytokine expression, microflora and antioxidant capacity in heat-stressed broilers. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Berlin, v. 102, n. 3, p. 717–726, 2018.

LIU, Q. W. *et al.* The influences of ambient temperature and crude protein levels on performance and serum biochemical parameters in broilers. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Berlin, v. 100, n. 2, p. 301–308, 2016.

LOTT, B. D. *et al.* The effect of temperature, dietary energy level, and corn particle size on broiler performance. **Poultry Science**, Champaign, v. 71, n. 4, p. 618–624, 1992.

LOVATTO, P. A. *et al.* Meta-análise em pesquisas científicas – enfoque em metodologias. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, p. 285-294, 2007. Suplemento especial.

LU, Z. *et al.* Chronic heat stress Impairs the quality of breast-muscle meat in broilers by affecting redox status and energy-substance metabolism. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, DC, v. 65, n. 51, p. 11251–11258, 2017.

LU, Z. *et al.* Serum metabolomics study of nutrient metabolic variations in chronic heat-stressed broilers. **British Journal of Nutrition**, Wallingford, v. 119, n. 7, p. 771–781, 2018.

MAY, J. D.; LOTT, B. D. Relating weight gain and feed: gain of male and female broilers to rearing temperature. **Poultry Science**, Champaign, v. 80, n. 5, p. 581–584, 2001.

MAY, J. D.; LOTT, B. D.; SIMMONS, J. D. The effect of environmental temperature and body weight on growth rate and feed:gain of male broilers. **Poultry Science**, Champaign, v. 77, n. 4, p. 499–501, 1998.

MARCHINI, C. F. P. *et al.* Physiology, cell dynamics of small intestinal mucosa, and performance of broiler chickens under heat stress: a review. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**, Medellin, v. 29, n. 3, p. 159-168, 2016.

MENDES, A. *et al.* Influence of dietary lysine levels and arginine: lysine ratios on performance of broilers exposed to heat or cold stress during the period of three to six weeks of age. **Poultry Science**, Champaign, v. 76, p. 472–481, 1997.

MONGIN, P. Recent advances in dietary anion: cation balance: applications in poultry. **Proceedings of the Nutrition Society**, London, v. 40, p. 285–294, 1981.

MORMÈDE, P. *et al.* Exploration of the hypothalamic-pituitary-adrenal function as a tool to evaluate animal welfare. **Physiology and Behavior**, Oxford, v. 92, n. 3, p. 317–339, 2007.

MUSHTAQ, M. M. H.; PASHA, T. N. Electrolytes, dietary electrolyte balance and salts in broilers: an updated review on acid-base balance, blood and carcass characteristics. **World's Poultry Science Journal**, Ithaca, v. 69, n. 4, p. 833–852, 2013.

- NAZARENO, A.C. *et al.* Avaliação do conforto térmico e desempenho de frangos de corte sob regime de criação diferenciado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas, v. 13, n. 6, p. 802–808, 2009.
- NEMATİ, M. *et al.* Cold-induced ascites in broilers: effects of vitamin C and Coenzyme Q10. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 537–544, 2017.
- NIENABER, J. A.; HAHN, G. L. Livestock production system management responses to thermal challenges. **International Journal of Biometereology**, New York, v. 52, n. 2, p. 149–157, 2007.
- NIU, Z. Y. *et al.* Effects of different levels of vitamin E on growth performance and immune responses of broilers under heat stress. **Poultry Science**, Champaign, v. 88, n. 10, p. 2101–2107, 2009.
- O'NEILL, H. A. A review on the involvement of catecholamines in animal behavior. **South African Journal of Animal Science**, Pretoria, v. 49, n. 1, p. 1–8, 2019.
- OLFATI, A. *et al.* Comparison of growth performance and immune responses of broiler chicks reared under heat stress, cold stress and thermoneutral conditions. **Spanish Journal of Agricultural Research**, Madrid, v. 16, n. 2, p. 1–7, 2018.
- OSTI, R.; BHATTARAI, D.; ZHOU, D. Climatic variation: effects on stress levels, feed intake, and body weight of broilers. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 489–496, 2017.
- OSTROWSKI-MEISSNER, H. T. The physiological and biochemical responses of broilers exposed to short-term thermal stress. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, Oxford, v. 70, p. 1–8, 1981.
- PASTORELLI, H. *et al.* Meta-analysis of feed intake and growth responses of growing pigs after a sanitary challenge. **Animal**, Cambridge, v. 6, n. 6, p. 952–961, 2012.
- POPE, T.; EMMERT, J. L. Impact of phase-feeding on the growth performance of broilers subjected to high environmental temperatures. **Poultry Science**, Champaign, v. 81, n. 4, p. 504–511, 2002.
- QUINTEIRO-FILHO, W. M. *et al.* Heat stress impairs performance parameters, induces intestinal injury, and decreases macrophage activity in broiler chickens. **Poultry Science**, Champaign, v. 89, n. 9, p. 1905–1914, 2010.
- QUINTEIRO-FILHO, W. M. *et al.* Acute heat stress impairs performance parameters and induces mild intestinal enteritis in broiler chickens: role of acute hypothalamic-pituitary-adrenal axis activation. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 90, n. 6, p. 1986–1994, 2012a.

QUINTEIRO-FILHO, W. M. *et al.* Heat stress impairs performance and induces intestinal inflammation in broiler chickens infected with *Salmonella enteritidis*. **Avian Pathology**, London, v. 41, n. 5, p. 421–427, 2012b.

REMUS, A. *et al.* A meta-analysis of the feed intake and growth performance of broiler chickens challenged by bacteria. **Poultry Science**, Champaign, v. 93, n. 5, p. 1149-1158, 2014.

RENAUDEAU, D. *et al.* Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. **Animal**, Cambridge, v. 6, n. 5, p. 707–728, 2012.

ROMERO, L. M.; REED, J. M. Collecting baseline corticosterone samples in the field: is under 3 min good enough? **Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology**, Oxford, v. 140, n. 1, p. 73–79, 2005.

RUDAS, P.; PETHES, G. The importance of the peripheral thyroid hormone deiodination in adaptation to ambient temperature in the chicken (*Gallus domesticus*). **Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Physiology**, Oxford, v. 77, n. 3, p. 567–571, 1984.

SANDS, J. S.; SMITH, M. O. Broilers in heat stress conditions: proteinate or chromium picolinate effects of dietary manganese supplementation. **Journal of Applied Poultry Research**, Oxford, v. 8, n. 3, p. 280–287, 1999.

SAPOLSKY, R. M.; ROMERO, L. M.; MUNCK, A. U. How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions. **Endocrine Reviews**, Chevy Chase, v. 21, p. 55–89, 2000.

SAUVANT, D. *et al.* Meta-analyses of experimental data in animal nutrition. **Animal**, Cambridge, v. 2, n. 8, p. 1203–1214, 2008.

SHINDER, D. *et al.* Thermoregulatory responses of chicks (*Gallus domesticus*) to low ambient temperatures at an early age. **Poultry Science**, Champaign, v. 86, n. 10, p. 2200–9, 2007.

SIQUEIRA, J. C. *et al.* Níveis de lisina digestível da ração e temperatura ambiente para frangos de corte em crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, n. 6, p. 2054–2062, 2007. Suplemento.

SMITH, S. M.; VALE, W. W. The role of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis in neuroendocrine responses to stress. **Dialogues in Clinical Neuroscience**, Neuilly-sur-Seine, v. 8, n. 4, p. 383–395, 2006.

SONG, D. J.; KING, A. J. Effects of heat stress on broiler meat quality. **World's Poultry Science Journal**, Ithaca, v. 71, n. 4, p. 701–709, 2015.

SOREN, N. M. Nutritional manipulations to optimize productivity during environmental stresses in livestock. *In*: SEJIAN, V. **Environmental stress and amelioration in livestock production**. Berlin: Springer-Verlag, 2012.

SOUZA, M. G. *et al.* Utilização das vitaminas C e E em rações para frangos de corte mantidos em ambiente de alta temperatura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 40, n. 10, p. 2192–2198, 2011.

SOUZA, L. F. A. *et al.* How heat stress (continuous or cyclical) interferes with nutrient digestibility, energy and nitrogen balances and performance in broilers. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 192, p. 39-43, 2016.

STOLZ, J. L. *et al.* Ascites syndrome, mortality and cardiological responses of broiler chickens subjected to cold exposure. **Poultry Science**, Champaign, v. 71, p.1-4, 1992.

SUGANYA, T. *et al.* Nutritional management to alleviate heat stress in broilers. **International Journal of Science, Environment and Technology**, Guwahati, v. 4, n. 3, p. 661- 666, 2015.

TAN, G. Y. *et al.* Effects of different acute high ambient temperatures on function of hepatic mitochondrial respiration, antioxidative enzymes, and oxidative injury in broiler chickens. **Poultry Science**, Champaign, v. 89, n. 1, p. 115–122, 2010.

TAO, X. *et al.* Responses of thyroid hormones of market-size broilers to thermoneutral constant and warm cyclic temperatures. **Poultry Science**, Champaign, v. 85, n. 9, p. 1520–1528, 2006.

TEETER, R. G. *et al.* Chronic heat stress and respiratory alkalosis: occurrence and treatment in broiler chicks. **Poultry Science**, Champaign, v. 64, n. 6, p. 1060–1064, 1985.

TEMIM, A. M. *et al.* Does excess dietary protein improve growth performance and carcass characteristics in heat-exposed chickens? **Poultry Science**, Champaign, v. 79, n. 3, p. 312-317, 2000.

TOTTON, S. C. *et al.* The effectiveness of selected feed and water additives for reducing *Salmonella* spp. of public health importance in broiler chickens: a systematic review, meta-analysis, and meta-regression approach. **Preventive Veterinary Medicine**, Amsterdam, v. 106, n. 3/4, p. 197-213, 2012.

UNI, Z.; GANOT, S.; SKLAN. D. Posthatch development of mucosal function in the broiler small intestine. **Poultry Science**, Champaign, v. 77, n. 1, p. 75-82, 1998.

UNI, Z. *et al.* Changes in growth and function of chick small intestine epithelium due to early thermal conditioning. **Poultry Science**, Champaign, v. 80, n. 4, p. 438-445, 2001.

XIONG, Y. *et al.* Effects of relative humidity on animal health and welfare. **Journal of Integrative Agriculture**, Beijing, v. 16, n. 8, p. 1653–1658, 2017.

YAHAV, S. *et al.* Physiological responses of chickens and turkeys to relative humidity during exposure to high ambient temperature. **Journal of Thermal Biology**, Oxford, v. 20, n. 3, p. 245–253, 1995.

YAHAV, S.; MCMURTRY, J. P. Thermotolerance acquisition in broiler chickens by temperature conditioning early in life - The effect of timing and ambient temperature. **Poultry Science**, Champaign, v. 80, n. 12, p. 1662–1666, 2001.

YAHAV, S. *et al.* Ventilation, sensible heat loss, broiler energy, and water balance under harsh environmental conditions. **Poultry Science**, Champaign, v. 83, n. 2, p. 253–258, 2004.

YAHAV, S. Alleviating heat stress in domestic fowl: different strategies. **World's Poultry Science Journal**, Ithaca, v. 65, n. 4, p. 719–732, 2009.

YOSI, F.; WIDJASTUTI, T.; SETIYATWAN, H. Performance and physiological responses of broiler chickens supplemented with potassium chloride in drinking water under environmental heat stress. **Asian Journal of Poultry Science**, Faisalabad, v. 11, n. 1, p. 31–37, 2017.

ZEFERINO, C. P. *et al.* Carcass and meat quality traits of chickens fed diets concurrently supplemented with vitamins C and E under constant heat stress. **Animal**, Cambridge, v. 10, n. 1, p. 163–171, 2016.

ZHANG, Z. Y. *et al.* Effects of constant and cyclic heat stress on muscle metabolism and meat quality of broiler breast fillet and thigh meat. **Poultry Science**, Champaign, v. 91, n. 11, p. 2931-2937, 2012.

ZULKIFLI, I. *et al.* Dietary selection of fat by heat-stressed broiler chickens. **Asian-Australian Journal of Animal Science**, Seoul, v. 20, n. 2, p. 245-251, 2007.

ZULKIFLI, I. *et al.* Effects of low-protein diets on acute phase proteins and heat shock protein 70 responses, and growth performance in broiler chickens under heat stress condition. **Poultry Science**, Champaign, v. 97, n. 4, p. 1306–1314, 2018.

VITA

Graciele Dalise Schirmann, filha de Selson Luiz Schirmann e Idelci Clair Schirmann, nasceu em 7 de setembro de 1989 em Alecrim, Rio Grande do Sul.

Ingressou no curso de Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Rio Grande do Sul, no primeiro semestre de 2010.

Ao longo da graduação realizou estágios no Núcleo de Pesquisas em Bovinos Leiteiros sob orientação do professor Dr. Júlio Viegas e no laboratório de Avicultura sob orientação do professor Dr. Alexandre Pires Rosa. Entre 2012- 2014 foi bolsista no Programa de Educação Tutorial – Pet Zootecnia da UFSM.

Em agosto de 2014 deu início ao curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), na área de Produção Animal, com ênfase em Nutrição Suínos. Obteve o título de Mestre em Zootecnia em março de 2016 com a defesa da dissertação intitulada “utilização digestiva e energia líquida de produtos do beneficiamento do arroz avaliadas com leitões” sob orientação do Profº Dr. Vladimir de Oliveira.

Em abril de 2016, ingressou no Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UFRGS sob orientação da Professora Dr. Andrea Machado Leal Ribeiro.